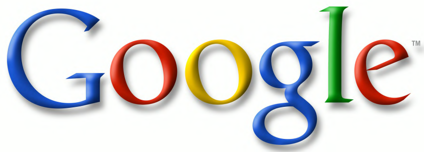
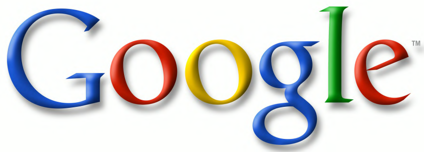






ANNALES

DES

PONTS ET CHAUSSÉES.

MÉMOIRES ET DOCUMENTS.

5e SÉRIE.

TOME XIX.

1880

1er SEMESTRE.

EXTRAIT DU CAHIER DES CHARGES

DE L'ÉDITEUR DES **ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES**.

Conditions stipulées au profit des auteurs :

Quinze exemplaires seront remis à chacun des auteurs des mémoires publiés.

. . . .

M. Dunod devra exécuter, pour le compte des auteurs qui en auront fait la demande au moment même où ils enverront leurs manuscrits à l'administration, et sur l'avis qui lui en sera donné, des tirages à part de leurs mémoires aux prix suivants :

1° Par *feuille de texte* et pour le premier cent d'exemplaires, 10 fr.; pour chaque centaine en plus, 5 fr.;

2° Par *planche* et par cent exemplaires, 10 fr.;

3° Pour *brochage, couverture et faux frais* : pour une feuille de texte seule, 2 fr. 50; pour chaque feuille supplémentaire et chaque planche, 25 cent.;

4° Pour un *titre spécial imprimé*, 10 fr.

Les auteurs qui ne pourraient s'entendre avec M. Dunod pour la publication et la vente de leurs mémoires extraits des *Annales* qu'ils voudraient publier séparément pourront, avec l'autorisation de l'administration, traiter avec tout autre éditeur et, dans ce cas, les planches et les bois des *Annales* pourront leur être prêtés pour les tirages qu'ils auront à faire; mais la mise en vente de leurs mémoires ne pourra avoir lieu qu'un an au moins après la publication de la dernière des livraisons des *Annales* auxquelles ils auront été empruntés.

Paris. — Imprimerie Arnous de Rivière, rue Racine, 26.

ANNALES

DES

PONTS ET CHAUSSÉES.

MÉMOIRES ET DOCUMENTS

RELATIFS

A L'ART DES CONSTRUCTIONS

ET AU SERVICE DE L'INGÉNIEUR;

LOIS, DÉCRETS, ARRÊTÉS ET AUTRES ACTES

CONCERNANT

L'ADMINISTRATION DES PONTS ET CHAUSSÉES.

MÉMOIRES ET DOCUMENTS.

5e SÉRIE.

TOME XIX.

1880

1er SEMESTRE.

PARIS

DUNOD, ÉDITEUR,

LIBRAIRIE DES CORPS DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES MINES,

Quai des Augustins, n° 49.

ANNALES

DES

PONTS ET CHAUSSÉES.

MÉMOIRES ET DOCUMENTS

RELATIFS

A L'ART DES CONSTRUCTIONS

ET AU SERVICE DE L'INGÉNIEUR.

N° 1

LE PLAN INCLINÉ DE MADISON (INDIANA).

NOTE

Par M. GARIEL, ingénieur des ponts et chaussées.

La question de l'exploitation des fortes rampes dans les chemins de fer est une de celles qui a été le plus souvent traitée, peut-être. Les renseignements historiques relatifs au plan incliné de Madison que nous avons extraits d'un mémoire présenté à la Société américaine des ingénieurs civils par M. J. Becker nous ont paru assez intéressants cependant pour pouvoir être présentés aux lecteurs des *Annales*.

Le chemin de fer de Madison à Indianapolis renferme

un plan incliné que, paraît-il, n'a pu éviter l'ingénieur chargé de la construction, M. Th. Morris. A partir de Madison la ligne présente sur une longueur de 1.100 mètres une pente moyenne de $0^m,009$ par mètre (avec une courbe de 300 mètres de rayon sur 250 mètres); c'est à la suite de cette courbe que commence le plan incliné. Celui-ci a une longueur de 2.150 mètres et son inclinaison moyenne atteint $0^m,059$ pour 1 mètre. La voie était primitivement rectiligne; mais, par suite d'un glissement du remblai vers la partie médiane elle présente une légère courbe vers ce point. La voie a l'écartement normal de $1^m,45$.

A l'origine de l'exploitation, en 1845, M. Baldwin construisit une locomotive à six roues couplées de $1^m,07$ et dont les cylindres avaient $0^m,33$ de diamètre et $0^m,50$ de longueur. Mais cette machine ne pouvait traîner que deux voitures à la fois et l'on dût renoncer à son emploi. On se servit alors de chevaux pour la traction sur le plan incliné, et cela jusqu'à la fin de 1847.

Cependant, dès 1845, un nommé Hoyt avait eu l'idée d'aider à la traction par la locomotive par l'emploi d'une crémaillère en fonte. Celle-ci était fixée à la partie externe des rails de la voie et de niveau avec leur surface supérieure (Pl. 1, *fig.* 1). Une roue dentée fixée à l'une des roues motrices, extérieurement, venait engrener avec cette crémaillère et en tournant entraînait la locomotive. Le glissement, le patinage était ainsi évité, puisque l'on ne comptait plus sur l'adhérence, sans que pour cela le poids cessât de porter sur les rails. La roue dentée était mue par un pignon que faisait tourner une manivelle, liée elle-même à une bielle actionnée par un piston se mouvant dans un cylindre spécial et que l'on ne devait faire agir que lorsque l'on serait arrivé à la rampe qu'il s'agissait de gravir.

Un modèle de ce système fut construit et proposé à l'administration du chemin de fer qui ne parut pas le considérer comme applicable, au moins sous cette forme. Un

des ingénieurs, M. Cathcart reprit toutefois cette idée en la modifiant et parvint à la faire accepter et mettre à exécution, vers la fin de 1847. Une somme de 5.000 francs fut payée à M. Hoyt pour éviter les réclamations qu'il aurait pu présenter au sujet de l'application de son idée.

Dans le système Cathcart (Pl. 1, *fig.* 2 et 3), la voie se composait outre les deux rails d'une crémaillère placée à égale distance de l'un et de l'autre. Cette crémaillère était solidement fixée sur une longrine reliée invariablement aux traverses de la voie; elle était en fonte, d'une largeur de $0^m,15$ et d'une hauteur de $0^m,12$; l'écartement des dents, d'axe en axe était de $0^m,10$ et leur sommet était à $0^m,15$ au-dessus des rails.

La locomotive qui circulait sur le plan incliné avait huit roues couplées, mues par l'action d'un piston de $0^m,40$ de diamètre et de $0^m,50$ de course : elle possédait, en outre une paire de cylindres verticaux B de $0^m,37$ de diamètre et de $0^m,45$ dans lesquels on pouvait à volonté faire mouvoir des pistons qui, par l'intermédiaire d'une bielle et d'une manivelle agissaient sur un pignon C de $0^m,40$ de diamètre. Celui-ci communiquait un mouvement de rotation à la roue dentée D de $0^m,80$ qui, engrenant avec la crémaillère, entraînait la locomotive : dans ces conditions les roues de la locomotive cessaient d'être motrices. Il fallait que la roue D pût être en prise ou non avec la crémaillère et pour cela, son axe était mobile dans une glissière courbe ayant pour centre le centre du pignon C de manière que dans toutes les positions elle engrenât avec lui. Enfin un autre piston mobile dans un cylindre G de $0^m,20$ de diamètre et $0^m,30$ de longueur donnait par l'intermédiaire de tiges et de leviers coudés un mouvement ascendant ou descendant à cette roue D : un déclic la maintenait dans une position convenable lorsqu'elle y avait été amenée.

L'ascension du plan incliné à l'aide de cette locomotive avait une assez longue durée : il ne fallait pas moins de

vingt minutes pour les trains de voyageurs et de vingt-cinq pour les trains de marchandises. D'autre part, les dépenses d'entretien de la voie étaient considérables : ruptures des dents de la crémaillère, usure des dents de la roue et du pignon, remplacement des longrines, telles étaient les réparations les plus fréquentes.

La locomotive Cathcart fonctionna cependant jusqu'en juillet 1867, époque à laquelle on se décida à revenir à l'emploi de machines agissant seulement par l'adhérence ; la locomotive que l'on essaya alors et dont nous allons donner les principaux éléments donna des résultats tels que le système Cathcart fut complétement abandonné. Cette machine est à cinq paires de roues couplées de $1^m,07$ de diamètre : les cylindres (*fig.* 9 et 10) ont $0^m,51$ de diamètre et $0^m,60$ de longueur : elle porte les approvisionnements d'eau et de combustible, du bois, qui lui sont nécessaires, c'est donc une locomotive-tender. L'eau est contenue dans deux réservoirs cylindriques latéraux H (*fig.* 9) qui règnent à peu près dans toute la longueur : le combustible est porté spécialement par les deux essieux d'arrière. Les réservoirs peuvent contenir 7.500 litres d'eau; la machine en charge pèse 50 tonnes. A la descente du plan incliné, le mouvement est régularisé par la marche à contre-vapeur; de plus des freins à vis permettraient un arrêt rapide dans le cas de circonstances exceptionnelles.

Des essais répétés furent effectués pour se rendre compte de la puissance de cette locomotive : nous donnerons seulement les résultats de deux observations faites dans des circonstances diverses.

I. Train de marchandises : 8 wagons de charbon; poids total (y compris la locomotive) 190 tonnes; durée du parcours, 13 minutes; vitesse moyenne $9^{kil},6$ à l'heure. On n'employa pas de sable sur les rails et l'on n'observa pas de patinage.

II. Train de voyageurs : poids total, 90 tonnes; durée

du parcours 5 minutes et demie; vitesse moyenne, 23 kilomètres à l'heure.

Depuis 1867 l'exploitation du plan incliné a pu se faire à l'aide de cette locomotive, en hiver comme en été, par les temps humides aussi bien que par les temps secs. Aucun accident ne s'est jamais produit ni à la montée, ni à la descente.

Il n'est pas sans intérêt de remarquer que les procédés exceptionnels employés tout d'abord dans les cas de fortes rampes ont été peu à peu abandonnés : c'est ainsi que nous citerons, en plus du plan incliné de Madison, les rampes de Saint-Germain et de Liége où les locomotives ont remplacé avec avantage, d'une part, le système atmosphérique et, d'autre part, la traction par câble.

Le mémoire duquel nous avons extrait les renseignements précédents contient une indication qui, peut-être, aurait passé inaperçue puisque le système auquel elle se rapporte ne paraît pas avoir jamais été appliqué si une disposition fort analogue ne se rencontrait à l'Exposition universelle (ateliers de construction de Aarau, Suisse) où elle est indiquée comme devant prochainement entrer dans la pratique.

Ce système aurait été proposé, et patenté, dès 1831 par un nommé Emor Rimber, de Rimberton; il comporte une crémaillère médiane située dans l'axe de la voie, mais notablement plus élevée que les rails (*fig.* 7 et 8), de telle sorte que la roue qui engrène avec elle et qui est montée sur l'essieu des roues motrices de la locomotive est plus petite que celle-ci. Cette roue dentée ne pourrait donc, par sa rotation, entraîner le véhicule sans produire un patinage considérable à cause de la différence des diamètres. Pour éviter cet inconvénient, la voie comporte, en outre, deux rails moins éloignés que les principaux et élevés au niveau de la crémaillère; des roues à boudin, de même diamètre que la roue dentée sont calées sur les essieux moteurs et

les dimensions sont telles que lorsqu'elles s'appuient sur les rails correspondants, les roues principales ne portent plus. De cette manière les mêmes pistons peuvent, dans tous les cas, mettre en mouvement les essieux moteurs qui agissent par l'intermédiaire de la roue dentée dans le cas des rampes, et par l'intermédiaire des roues principales, la crémaillère et les rails auxiliaires n'existant plus alors dans le cas des routes horizontales ou présentant de faibles rampes. Ajoutons que pour parer aux inconvénients qui auraient pu résulter d'un accident arrivé à la machine dans le cas de l'ascension d'une rampe, un cliquet glisse le long de la crémaillère et se serait opposé au besoin au mouvement de descente du véhicule.

Nous ne prétendons tirer aucune conclusion formelle de ces indications, pas plus que nous ne voulons établir une comparaison avec les chemins de fer à forte rampe déjà établis : il y avait seulement, dans le mémoire que nous venons d'analyser, une donnée historique que nous avons cru intéressant de faire connaître.

N° 2

NOTE

SUR

LE TARAGE DE L'HYDRO-DYNAMOMÈTRE

OU

DYNAMOMÈTRE HYDRAULIQUE

NOUVEL INSTRUMENT POUR LE JAUGEAGE DES COURS D'EAU
ET L'OBSERVATION DES LOIS DE L'HYDRAULIQUE

Par M. DE PERRODIL, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

Dans la notice insérée dans les *Annales des ponts et chaussées*, année 1877, 1er semestre, page 467, nous avons annoncé que nous procéderions à des expériences pour déterminer la valeur exacte du coefficient c qui doit entrer dans la formule

$$v = c\sqrt{a}$$

pour chacune des trois palettes de l'instrument.

Nous avons effectué ces expériences les 29 et 30 juillet 1878, à l'atelier expérimental du Trocadéro dépendant de l'École des ponts et chaussées.

Un petit pont tournant ou passerelle en bois avait été établi dans ce but. L'axe de rotation de cette espèce de manège le partage en deux moitiés bien symétriques. La circonférence décrite par les extrémités se projette sur le bord extérieur d'une rigole annulaire de $0^m,60$ de largeur.

L'instrument est fixé au manège dans l'axe de la rigole. Pour observer le temps d'une révolution, on a fixé au manège une petite languette de bois formant ressort, qui vient rencontrer un obstacle fixe produisant un bruit sec qui prévient l'observateur muni d'un compteur à pointage. Cet observateur étant placé sur une extrémité du pont et l'observateur du dynamomètre sur l'autre extrémité, un homme pousse le manège à la main, et l'observateur du dynamomètre règle sa marche de manière que l'angle observé sur le cercle soit invariable. Cette condition a été obtenue fort exactement grâce à l'intelligence de l'homme chargé de faire mouvoir le manège. Cet agent préposé à l'atelier, comme mécanicien, de la machine à vapeur et aide du laboratoire expérimental produisait ainsi un mouvement très uniforme soit à petite soit à grande vitesse.

Mais pour obtenir exactement la vitesse relative à l'instrument en mouvement dans le liquide il a été nécessaire d'observer, pour en tenir compte, la vitesse imprimée par entraînement à l'eau pendant chaque observation. Les résultats de toutes ces observations sont inscrits dans les tableaux n°s 1 et 2, pages 16 et 17. La première colonne contient l'angle lu sur le cercle gradué.

La 2e colonne contient les temps d'une révolution du manège, la colonne 3 contient les quotiens du chemin décrit, 23^m,25, développement de l'axe de la rigole par les temps d'une révolution. Les colonnes 4 et 5 renferment les résultats de l'observation relative au mouvement gyratoire imprimé à l'eau. Cette observation a été faite à l'aide de flotteurs. La colonne 6 contient les moitiés des vitesses observées ainsi, lesquelles doivent être retranchées de V pour donner les valeurs de la vitesse relative u de la palette et du fluide. En effet, remarquons d'abord que cette vitesse relative est constante pendant une même observation, car le dynamomètre conserve la même tension. Au contraire v va en croissant et l'on peut supposer que l'ac-

croissement est proportionnel au temps en sorte que, a, désignant une constante, on a :

$$v = at.$$

en admettant que la vitesse v soit nulle à l'origine du mouvement. La vitesse relative constante u étant égale à $V - v$, V désignant la vitesse réelle de l'instrument, au bout du temps t, on a :

$$V = u + at.$$

Le chemin parcouru dans le temps T d'une révolution en vertu de cette vitesse V est donc,

$$\int_0^T V dt = uT + \frac{1}{2} aT^2 = 23^m,25,$$

développement de la circonférence décrite par l'instrument.

Divisant par T, on a :

$$\frac{23^m,25}{T} = u + \frac{1}{2} aT.$$

Mais le premier membre est la quantité V inscrite dans la colonne 3, et aT est la quantité v inscrite dans la colonne 5, il en résulte donc

$$V = u + \frac{v}{2}.$$

Les valeurs de la vitesse u obtenues avec cette formule sont inscrites dans la colonne 7 du tableau n° 1 et 6 du tableau n° 2, la colonne 8 contient la racine carrée du nombre de degrés inscrits dans la 1re colonne et la colonne 9 les valeurs du coefficient $c = \frac{u}{\sqrt{\alpha}}$. Les valeurs de ce coefficient relatives à chacune des trois palettes obtenues en prenant

la moyenne des nombres inscrits dans les colonnes 9 du tableau n° 1 et 8 du tableau n° 2, sont :

Pour la petite palette. . . . . $c = 0{,}3126$
Pour la palette moyenne. . . . . $c = 0{,}1177$
Pour la grande palette. . . . . $c = 0{,}0349$

Les trois formules à appliquer pour calculer la vitesse cherchée, à l'aide du nombre de degrés α lu sur le cercle seront donc,

1° Avec la petite palette employée pour des vitesses de 1 à 3 mètres. . . . . $v = 0{,}3126\sqrt{\alpha}$.
2° Avec la palette moyenne employée pour des vitesses de 0m,40 à 1 mètre. . . . . $v = 0{,}1177\sqrt{\alpha}$.
3° Avec la grande palette employée pour des vitesses ne dépassant pas 0m,40. . . . . $v = 0{,}0349\sqrt{\alpha}$.

Observation sur la valeur du coefficient K, relatif à la résistance que l'eau oppose au mouvement des corps qui y sont plongés.

En désignant par Ω la section droite d'un cylindre circonscrit au corps et ayant ses génératrices parallèles à la direction du mouvement, cette résistance est supposée donnée par la formule

$$R = K \frac{1000}{2g} \Omega v^2.$$

Nos expériences des 29 et 30 juillet ont donné des résultats conformes à cette loi pour une même palette. Ainsi la résistance a été proportionnelle au carré de la vitesse. Mais le coefficient K a varié avec l'aire Ω. En effet le moment du couple qui produit une torsion d'un degré dans notre dynamomètre est égal à 0kgm,000264. Ainsi α étant l'angle lu pendant une observation correspondant à une vitesse v, d'une part le moment du couple de torsion est

égal à 0,000264 α, et d'autre part le moment de la résistance que l'eau exerce sur la surface Ω est,

$$K \frac{1000}{2g} \Omega b v^2,$$

b désignant le bras de levier de cette force, ou la distance du centre de gravité de Ω à l'axe de rotation. L'égalité de ces deux quantités donne l'équation,

$$K \frac{1000}{2g} \Omega b v^2 = 0{,}000264\alpha,$$

il en résulte,

$$\frac{v}{\sqrt{\alpha}} = \frac{0{,}002276}{\sqrt{K\Omega b}} = c.$$

Mettons à la place de Ω, b et c les valeurs relatives aux trois palettes, savoir :

	Ω	b	c
Petite palette.	0,00065	0,091	0,3126
Palette moyenne	0,00248	0,122	0,1177
Grande palette	0,01918	0,131	0,0349

et nous tirerons de l'égalité précédente les trois valeurs de K.

Ces trois valeurs sont :

Pour la petite palette.	K = 0,894
Pour la palette moyenne.	K = 1,246
Pour la grande palette.	K = 1,688

Nous avons inscrit dans les colonnes 10 et 11 du tableau n° 1, 9 et 10 du tableau n° 2 les écarts qui se sont produits entre les valeurs des coefficients C et celle de leur moyenne. Quelques-uns sont assez considérables; nous y reviendrons plus bas.

N° 1. — Tableau des résultats des expériences du 29 juillet 1878.

α	T	V	t	v	$\frac{1}{2}v$	$u = V - \frac{v}{2}$	$\sqrt{\alpha}$	c	DIFFÉRENCES des valeurs de c et de leur moyenne — absolue	relative ou p. 100.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
					Petite palette.					
81°,5	8″,00	2,906	28″	0,143	0,076	2.830	9,026	0,3135	0,0009	0,288
71 ,5	9 ,00	2,583	32	0.125	0,062	2,521	8.456	0,2980	0,0146	4,07
61 ,5	9 ,18	2.533	25	0,160	0,080	2.453	7,840	0,3130	0,0004	0.128
51 ,5	9 ,80	2,373	42	0,095	0,047	2,326	7,170	0,3243	0,0117	3.74
41 ,5	10 ,75	2,066	57	0,070	0,035	2,031	6,440	0,3155	0,0029	0,928
31 ,5	11 ,00	1,935	60	0,067	0,033	1,902	5,610	0,3390	0,0264	8,44
21 ,5	16 ,00	1,453	74	0,051	0,027	1,426	4,740	0,3007	0,0119	3,80
12 ,25	21 ,30	1,092	90	0,044	0,022	1,070	3,500	0,3060	0,0066	2,11
					Moyenne palette.					
81 ,5	21″,30	1,093	94″	0 042	0,021	1,072	9.026	0,1187	0,0010	0,85
71 ,5	23 ,00	1,010	104	0,038	0,019	0,991	8.456	0,1172	0,0005	0,425
61 ,5	25 ,00	0,930	152	0,026	0,013	0,917	7,840	0,1170	0,0007	0,594
51 ,5	27 ,00	0,861	100	0,040	0,020	0,841	7,170	0,1173	0,0004	0,340
41 ,5	30 ,00	0,775	120	0,033	0,017	0,758	6,440	0,1176	0,0001	0,085
31 ,5	35 ,00	0,664	116	0,034	0,017	0,647	5,610	0,1153	0,0024	2.04
21 ,5	41 ,00	0,567	»	»	0,015	0,552	4,635	0,1191	0,0014	1,19
11 ,5	55 ,00	0,423	148	0,025	0,012	0,411	3,392	0,1212	0.0035	2,97
					Grande palette.					
81 ,5	66″,00	0.3525	68″	0,059	0,029	0,323	9,026	0,0358	0,0009	2,58
71 ,5	76 ,40	0,3045	112	0,036	0,018	0,286	8,456	0,0338	0,0011	3,15
61 ,5	83 ,00	0,280	208	0,019	0,009	0,271	7,840	0,0345	0,0004	1,145
51 ,5	85 ,00	0.2735	108	0,037	0,025	0,248	7.170	0,0346	0,0003	0,86
41 ,5	102 ,00	0,2278	212	0,019	0,009	0,219	6.440	0,0340	0,0009	2.58
31 ,5	110 ,00	0,2112	128	0.031	0.015	0.196	5.610	0,0349	0,0000	0.00
21 ,5	148 ,00	0.157	180	0.022	0,011	0,146	4,635	0,0315	0,0034	9,75
11 ,5	213 ,00	0,1092	»	»	»	0,108	3,392	0,0318	0,0031	8,74

N° 2. — Tableau des résultats des expériences du 30 juillet 1878.

α	T	V	t	$\frac{v}{2}$	u	$\sqrt{\alpha}$	c	DIFFÉRENCES des valeurs de c et de leur moyenne — absolue	relative en p. 100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
				Petite palette.					
80°	7″,89	2,945	22″,0	0,091	2,854	8,94	0,3194	0,0068	2,17
70	8 ,90	2,613	27 ,5	0,073	2,540	8,364	0,3076	0,0050	1,66
60	9 ,25	2,514	30 ,5	0,065	2,449	7,740	0,3162	0,0036	1,15
50	10 ,00	2,325	29 ,0	0,069	2,256	7,070	0,3190	0,0064	2,08
30	13 ,50	1,722	49 ,5	0,040	1,683	5,675	0,3075	0,0051	1,63
20	16 ,80	1,384	56 ,0	0,036	1,348	4,470	0,3017	0,0100	3,49
				Palette moyenne.					
80°	21″,30	1,092	54″,0	0,037	1,035	8,94	0,1180	0,0003	0,254
70	23 ,25	1,000	80 ,0	0,025	0,975	8,364	0,1165	0,0012	1,02
60	25 ,00	0,930	108 ,0	0,022	0,908	7,740	0,1173	0,0004	0,340
50	27 ,05	0,845	84 ,0	0,024	0,821	7,070	0,1162	0,0015	1,27
40	31 ,10	0,748	126 ,0	0,016	0,732	6,32	0,1158	0,0019	1,61
30	34 ,25	0,678	96 ,0	0,021	0,657	5,475	0,1200	0,0023	1,96
				Grande palette.					
80°	66″,80	0,348	136″	0,015	0,333	8,94	0,0372	0,0023	6,59
70	74 ,80	0,317	104	0,019	0,298	8,364	0,0356	0,0007	2,00
60	83 ,60	0,278	112	0,018	0,260	7,74	0,0336	0,0013	3,73
40	99 ,50	0,2335	»	0,0065	0,2270	6,32	0,0369	0,0020	5,74
30	111 ,00	0,2095	»	0,0055	0,2040	5,475	0,0383	0,0034	9,74
20	144 ,00	0,1614	»	0,0054	0,1560	4,47	0,0361	0,0012	3,44

Expériences sur le tarage d'un Moulinet de Woltmann.

Dans les expériences du 30 juillet 1878, nous avons observé les indications données par un moulinet de Woltmann du dépôt de l'École des ponts et chaussées. Cet instrument d'un modèle nouveau est à 4 ailettes comme le modèle Baumgarten. La surface des ailes est celle d'un héliçoïde. Elle est engendrée par une droite qui s'appuie sur l'axe d'un cylindre et sur une hélice tracée sur ce cylindre, en restant dans un plan normal à l'axe. Les ailettes sont limitées par deux génératrices du conoïde, par l'hélice directrice tracée sur un petit cylindre plein intérieur, et par

l'hélice de même pas suivant laquelle la surface de l'aile est coupée par un cylindre extérieur concentrique au premier. Ce cylindre extérieur forme la surface intérieure d'un anneau très mince en laiton dont la largeur est égale à celle des ailes mesurée suivant l'axe du cylindre, et qui sert à consolider celles-ci en les réunissant sans opposer de résistance au mouvement de l'eau à cause de sa très faible épaisseur.

Cet instrument ayant été fixé sur le manège dans l'axe de la rigole circulaire à l'extrémité d'un diamètre, le dynamomètre restant fixé à l'autre extrémité, nous avons imprimé au système une série de vitesses dont les valeurs sont inscrites dans la colonne 2 du tableau n° 3 suivant page 26. Les nombres de tours des ailettes effectués pendant une révolution du manège sont inscrits dans la colonne 4. La colonne 5 contient les nombres de tours par seconde. Les quantités u et ω des colonnes 2 et 5 doivent satisfaire d'après la théorie, à la relation :

$$(1) \qquad u^2 + au\omega + b\omega^2 + c = 0.$$

dans laquelle les trois premiers termes forment un carré parfait, en sorte qu'on aurait :

$$a^2 - 4b = 0,$$

d'après M. Chasles, et $a^2 - 4b$ serait plus grand que o d'après M. Baumgarten.

Dans le premier cas, le lieu géométrique représenté par cette équation, u et ω étant l'ordonnée, et l'abscisse d'un de ses points, serait un système de deux droites parallèles et dans le second cas une hyperbole ayant son centre à l'origine.

Ainsi les points dont les coordonnées sont les nombres des colonnes 2 et 5 doivent être placés à peu près sur une ligne droite ou sur une hyperbole passant par l'origine.

Pour le reconnaître on marquera sur un plan les 19 points dont les coordonnées rapportées à deux axes représentent les 19 groupes de valeurs de u et ω à une échelle déterminée.

La position de ces points est indiquée sur la *fig.* 11, Pl. I. L'échelle des abscisses est de $\frac{1}{2}$ centimètre pour un tour par seconde et celle des ordonnées de $\frac{1}{2}$ centimètre pour $0^m,10$ de vitesse. On reconnaît alors que tous les points sont à peu près en ligne droite à l'exception des points 13 et 14 qui s'en écartent à peu près également de part et d'autre. Si l'on se reporte aux nombres de tours correspondants, colonne 4 du tableau n° 3, savoir 211 et 164 on voit que leur somme 375 est le double de 187 valeur égale aux nombres voisins de la même colonne. Ces deux anomalies proviennent donc nécessairement d'une seule et même erreur de lecture du compteur du moulinet. En effet le nombre N, s'obtient en retranchant du nombre indiqué par le compteur au commencement d'une observation, le nombre qu'il indique à la fin. Si donc le nombre lu à la fin de l'observation 13 était erroné, les nombres N des 2 observations 13 et 14 l'ont été également tous les deux, l'un dans un sens, l'autre dans l'autre. Cette explication des deux anomalies 13 et 14 est trop bien confirmée par les valeurs des nombres N correspondants pour qu'il soit possible de douter de l'erreur commise dans la lecture du moulinet à la fin de l'observation 13 et nous supprimerons en conséquence, les deux observations 13 et 14.

Les 17 points restant satisfont alors d'une manière assez exacte à la condition d'être en ligne droite et pour déterminer avec la plus grande précision possible les paramètres a et b de l'équation :

$$u = a\omega + b, \qquad (2)$$

qui représente cette droite je vais chercher la condition pour que la somme des carrés des distances des 17 points

à la droite (2) soit un minimum, et comme ces distances sont proportionnelles à, $u - a\omega - b$, j'écris

$$\Sigma(u - a\omega - b)^2 = \text{minimum},$$

les quantités a et b, étant indépendantes, il faut égaler séparément à zéro les dérivées du 1er membre par rapport à ces deux quantités, ce qui donne :

$$\Sigma[(u - a\omega - b)\omega] = 0,$$
$$\Sigma(u - a\omega - b) = 0,$$

d'où les deux équations linéaires entre les inconnues a et b,

$$(3) \quad \left\{ \begin{array}{l} \Sigma[(\omega^2)]\,a + \Sigma(\omega)b = \Sigma(u\omega), \\ \Sigma(\omega)\,a + \Sigma(\omega)\,b = \Sigma u. \end{array} \right.$$

Les colonnes 6 et 7 contiennent les valeurs de ω^2 et $u\omega$, dont les sommes entrent dans les équations précédentes. Les valeurs de a et b sont ainsi,

$$a = 0{,}1095, \qquad b = 0{,}0825,$$

et l'équation de la droite

$$(4) \qquad u = 0{,}1095\,\omega + 0{,}0825.$$

La colonne 8 contient les valeurs de u calculées à l'aide de cette formule. Les colonnes 9 et 10 indiquent les erreurs relatives à ces valeurs.

Ces erreurs sont assez faibles pour que l'on puisse considérer la formule (4) comme représentant bien la loi qui lie les quantités u et ω. Au contraire aucune hyperbole ayant son centre à l'origine ne peut satisfaire à la condition qu'aucun des 17 points de la *fig.* 11 ne soit éloigné de la courbe d'une manière notable, ce qui conduirait à conclure que l'équation linéaire de M. Chasles représente mieux le phénomène que l'équation du second degré de M. Baum-

garten. Cette dernière a été obtenue par une intégration par rapport à r dans laquelle deux coefficients K et K′ sont considérés comme constants, et il est probable, d'après ce qui précède que ces quantités sont fonction de r. (Voir, *Annales des ponts et chaussées*, 2e semestre de 1847.)

Comparaison du nouveau dynamomètre et du moulinet.

En notre qualité d'inventeur du dynamomètre hydraulique nous sommes nécessairement enclin à exalter ses mérites et à atténuer ses défauts tandis que nous devons être animé de dispositions toutes contraires à l'égard des instruments rivaux.

Aussi ce n'est pas à nous qu'il appartiendra de juger en dernier ressort sur la préférence à donner à l'un ou à l'autre instrument, ce sera surtout au temps et à l'expérience qu'il faudra s'en rapporter à cet égard, mais nous demandons la permission de signaler ici quelques points qui nous semblent donner au dynamomètre la supériorité sur le moulinet. En ce qui touche l'observation de l'élément dont la valeur numérique sert à déterminer la vitesse, le dynamomètre est de beaucoup préférable au moulinet. Dans le dynamomètre en effet, cet élément est l'angle de torsion α qui s'obtient directement par l'observation de la pointe de l'aiguille que l'on a constamment sous les yeux. Dans le moulinet l'élément ω dont la valeur numérique sert à déterminer la vitesse de l'eau, est le nombre de tours par seconde de l'arbre qui porte les ailettes. Ce nombre s'obtient par une division dont le dividende est le nombre total de tours effectué par l'arbre pendant le temps qu'il agit sur le compteur et le diviseur est le nombre de secondes compris dans le même temps et observé sur un chronomètre. La détermination de ω exige donc deux instruments, chacun d'eux donne lieu à une cause particulière d'erreur, et celle qui est relative au moulinet peut

être d'autant plus grande qu'il peut ne pas y avoir simultanéïté suffisante dans le mouvement qui fait engréner l'arbre et dans celui qui opère le pointage ou le départ de l'aiguille du chronomètre. Cette cause d'erreur se reproduit au commencement et à la fin de chaque opération. Il peut arriver souvent que l'embrayage n'a pas été opéré du tout et l'opération est à refaire. Enfin après chaque opération il faut retirer l'instrument de l'eau pour faire la lecture du nombre indiqué par le compteur. En ce qui concerne la loi qui détermine la vitesse en fonction de l'élément relevé par l'observation, loi qui constitue le principe de l'instrument, le moulinet est moins parfait que le dynamomètre. Dans celui-ci, tant que la limite d'élasticité du ressort n'est pas dépassée, l'angle α est proportionnel à la force qui le produit; d'un autre côté cette force est proportionnelle au carré de la vitesse de l'eau qui presse la palette, lorsque cette palette reste la même.

L'expérience et la théorie se réunissent pour confirmer séparément chacune de ces deux lois, et la loi simple qui lie la vitesse v et l'angle observé α est :

$$(a) \qquad u = c\sqrt{\alpha}.$$

c désignant une quantité constante pour une même palette. Sans doute les valeurs du coefficient c, inscrites dans les colonnes 9 du tableau n° 1 et 8 du tableau n° 2, ne sont pas les mêmes pour une même palette, il y a des différences dont quelques-unes sont assez considérables. Elles sont indiquées dans les colonnes 10 et 11 du tableau n° 1, 9 et 10 du tableau n° 2. Celle qui est de 8,44 p. 100, correspond à une vitesse, $u = 1^{m},902$.

La formule (a) donne pour la valeur $c = 0,3126$ correspondant à la petite palette,

$$u = 1,754,$$

quantité qui diffère de la précédente de $0^{m},148$.

Cette différence est assez grande en elle-même, mais elle correspond à une différence des temps de la révolution du manège qui, elle, est assez petite. La première valeur $u = 1^m,902$ donne en effet $T = 12'',20$, la seconde donne $T = 13'',26$. Cette différence d'une seconde est certainement supérieure de beaucoup à l'erreur généralement commise sur l'observation du temps qui, faite par un agent habile et expérimenté avec un compteur à pointage, ne devait pas dépasser un quart de seconde. Mais une autre cause d'erreur provient de la difficulté d'entretenir une vitesse constamment égale à une valeur déterminée, et ces deux causes d'erreur suffisent pour expliquer les variations du coefficient c. Si ce coefficient n'était pas constant, s'il augmentait ou s'il diminuait lorsque la vitesse augmente, nos expériences nous auraient nécessairemeut conduit à le reconnaître. En effet, dans les expériences du 29 juillet, effectuées avec la petite palette, les vitesses indiquées dans la colonne 7 du tableau n° 1 ont varié depuis $1^m,7$ jusqu'à $2^m,83$, c'est-à-dire dans des limites assez étendues pour que l'influence de la variation de la vitesse ne puisse pas être entièrement masquée par les deux causes d'erreur dont nous venons de parler.

Dans le moulinet la relation théorique qui lie u et ω est assez mal connue. C'est l'équation d'une droite d'après M. Chasles, et d'une hyperbole d'après M. Baumgarten. Pour reconnaître quelle est celle qui représente réellement le phénomène, il n'existe qu'un seul moyen, c'est de soumettre le moulinet à des expériences de tarage semblables à celles que nous avons effectuées le 30 juillet 1878. On a vu que les résultats de ces expériences s'accordaient bien avec la formule de M. Chasles, mais ne pouvaient s'accorder avec celle de M. Baumgarten.

Pour l'observation des petites vitesses, le moulinet ne fournit plus aucune indication. Au-dessous d'une vitesse de 0,10 les ailettes ne tournent pas. Du reste, si l'on

parvenait à rendre l'appareil plus sensible encore que ne l'a fait M. Baumgarten, on ne pourrait avoir confiance dans les indications relatives aux petites vitesses, car elles seraient influencées notablement par la valeur du frottement qui varierait nécessairement avec l'état des surfaces frottantes. Autrement dit, le terme indépendant de la formule (4) qui était égal à 0,0825, lors des expériences du 30 juillet 1878, pourrait prendre une valeur fort différente quoique toujours petite dans une série d'expériences effectuées à une autre époque. Or s'il en était ainsi, la formule (4) ne pourrait plus continuer à donner des résultats suffisamment exacts dans les faibles vitesses.

Tube de Pitot.

Le tube de Pitot n'a pas comme le moulinet l'inconvénient d'exiger l'emploi d'un chronomètre. L'élément dont la valeur numérique obtenue par l'observation détermine la vitesse, est une différence de niveaux de deux colonnes piézométriques dont les sommets sont mis en communication avec un même milieu plein d'air condensé ou raréfié. Pour lire cette différence de niveau, il faut observer la position du sommet de chaque colonne sur sa graduation, ce qui ne peut se faire qu'en interrompant par un robinet la communication de la partie supérieure des tubes avec leur partie inférieure afin de rendre immobiles les sommets des colonnes liquides. Or, on peut douter qu'au moment de la fermeture du tube la différence des hauteurs des colonnes liquides fut bien égale à la différence de pression sur les deux orifices, qui doit correspondre à la vitesse dont le liquide était animé au moment de la fermeture du robinet. Il n'y aurait certitude à cet égard que si les sommets des colonnes eussent été immobiles au moment de cette fermeture. Mais en écartant cette cause de doute, il reste encore

la difficulté de saisir le moment le plus convenable de la fermeture pour obtenir la vitesse moyenne, difficulté que M. Bazin cherche à résoudre en fermant deux fois, la première à l'instant du maximum, la seconde à l'instant du minimum. Malheureusement, il n'existe aucun indice qui permette d'affirmer que les hauteurs obtenues dans ces deux opérations soient bien réellement l'une le maximum et l'autre le minimum.

Dans le dynamomètre, les deux valeurs maximum et minimum de l'angle de torsion peuvent, au contraire, s'observer avec facilité et si les oscillations de l'aiguille sont assez fortes pour devenir gênantes, rien n'empêche de les atténuer avec la main, comme on atténuerait celles du fléau d'une balance.

Le tube de Pitot convient encore moins que le moulinet à la mesure des petites vitesses, puisqu'une vitesse de $0^m,28$ correspond à une différence de niveau de $0^m,004$ seulement. Or, dans les conditions où s'effectue l'évaluation de cette différence de niveau, il peut arriver que le nombre observé présente une erreur relative très grande. D'un autre côté pour des vitesses considérables la différence de niveau devient très grande puisqu'elle est proportionnelle au carré de cette vitesse et il faut donner de très grandes longueurs aux tubes gradués en verre qui servent à mesurer les colonnes piézométriques, ce qui rend l'instrument moins maniable et augmente les difficultés de construction ainsi que la dépense.

Au contraire, il n'existe pas de limite de vitesse en quelque sorte qui ne puisse être obtenue avec le dynamomètre. Le modèle qui a servi à nos expériences muni d'une tige de 2 mètres de longueur et de $0^m,003$ de diamètre et armé de la grande palette est sensible à une vitesse de 1 centimètre par seconde seulement et peut mesurer des vitesses allant jusqu'à 3 mètres.

Un dynamomètre dont la tige aurait $0^m,006$ de diamètre

permettrait de mesurer des vitesses allant jusqu'à 8^{m},50 par seconde.

Anémo-dynamomètre.

Le nouvel instrument serait d'un excellent usage pour mesurer l'intensité du vent. Sans rien changer aux dimensions du premier spécimen construit, on pourrait l'utiliser pour ce nouvel emploi en lui adaptant des palettes d'une plus grande surface. Ainsi avec une palette de 0^{m},052 de diamètre et un bras de levier de 0^{m},818 on mesurerait des vitesses variant de 0^{m},50 à 2 mètres. Avec une palette de 0^{m},128 et un bras de 0^{m}326, on mesurerait des vitesses variant de 2 à 8 mètres et avec une palette de 0^{m},052 de diamètre et un bras de 0^{m},132, on pourrait mesurer des vitesses variant de 8 à 32 mètres par seconde.

N° 3. — Tableau des résultats des expériences du 30 juillet 1878 sur le tarage du moulinet de Woltmann.

NUMÉROS d'ordre.	u	T	N	$\frac{N}{T} = \omega$	ω^2	$u\omega$	$a\omega + b$	DIFFÉRENCE absolue.	DIFFÉRENCE relative ou p. 100.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,156	114'',00	108	0,750	0,562	0,117	0,1646	0,009	5,08
2	0,204	111 ,00	120	1,080	1,168	0,220	0,2007	0,003	1,47
3	0,227	99 ,50	138	1,386	1.920	0,3145	0,2342	0,007	3,08
4	0,260	83 ,60	148	1,770	3,136	0,460	0,2763	0,016	6,15
5	0,298	74 ,80	148	1,978	3,920	0,590	0,2991	0,001	0,34
6	0,333	66 ,80	146	2,184	4,770	0,728	0,3217	0,011	3,31
7	0,612	38 ,00	180	4,736	22,40	2,895	0,6009	0 011	1,08
8	0,657	34 ,25	171	4,990	24,88	3,280	0,6289	0,028	4,27
9	0,732	31 ,10	186	5,984	35,80	4,380	0,7377	0,006	0,82
10	0,821	27 ,50	188	6,836	46,70	5,616	0,8307	0,010	1,21
11	0.908	25 ,00	190	7,600	57,70	6,900	0,9145	0,007	0,77
12	0,975	23 ,25	187	8,040	64,60	7,840	0,9629	0,012	1,23
13	1,055	21 ,30	211	»	»	»	»	»	»
14	1,348	16 ,80	164	»	»	»	»	»	»
15	1,683	13 ,50	190	14,060	198,00	23,67	1,6365	0,046	2,73
16	2,256	10 ,00	195	19,50	380,00	44,00	2,2175	0,038	1,68
17	2,449	9 ,25	195	21,10	445,00	51,68	2,3925	0,056	2,29
18	2,540	8 ,90	203	22,80	520,00	57,96	2,5805	0,041	1,61
19	2,854	7 ,90	206	26,07	680,00	74,40	2,9355	0,082	2,87

Nous ne terminerons pas cette note sans faire remarquer

que notre dynamomètre hydraulique est susceptible de recevoir les dimensions les plus diverses. De même qu'il existe des balances de tous les modèles depuis celle du chimiste jusqu'à celles des grands ateliers de l'industrie, on pourra construire des dynamomètres hydrauliques de toutes les forces, depuis ceux que l'on emploierait dans les cabinets de physique à l'observation des lois de l'hydrodynamique jusqu'à ceux que les ingénieurs emploieraient au jaugeage des cours d'eau des plus grandes profondeurs.

Dans tous les instruments construits avec une tige de même nature pour ressort de torsion, la forme de ces tiges serait celle de cylindres semblables dans lesquels, par conséquent, le diamètre serait proportionnel à la longueur, afin que l'amplitude de la torsion put atteindre toujours un angle droit de 90° environ, sans que la limite d'élasticité fut dépassée. Il est facile de voir, en effet, que le rapport $\frac{r}{l}$ étant constant, cette amplitude sera constante aussi pour un même effort élastique. L'amplitude α de la torsion ou de la rotation de la base supérieure de la tige par rapport à la base inférieure est donnée par l'équation suivante. (Numéro cité des *Annales des ponts et chaussées*, page 471).

$$\alpha = \frac{ml}{\text{GI}}.$$

Mais en un point quelconque de la surface du cylindre de la tige le déplacement relatif des molécules est égal à $\frac{\alpha r}{l}$. Ce déplacement ne doit pas dépasser le rapport 0,00135 (voir page 474) pour des tiges en cuivre.

En le supposant constant, ainsi que α, $\frac{r}{l}$ doit être constant. Si les résultats donnés par l'acier chromé se confirment, les tiges de ce métal seraient d'un emploi très avan-

tageux dans ce nouvel instrument, comme dans tous ceux qui utilisent l'élasticité des métaux, puisque, d'après ces résultats, dans l'acier au chrome, les efforts élastiques peuvent atteindre un chiffre beaucoup plus élevé que dans les autres, sans que la limite d'élasticité soit dépassée.

Paris, le 13 août 1878.

N° 3

NOTE

SUR

LE CHARGEMENT DIRECT

PAR

LA DRAGUE DES WAGONS PLACÉS SUR BATEAU

Par M. GOTTELAND, ingénieur des ponts et chaussées.

Motifs de l'adoption de ce système. — Les produits des dragages, pour peu qu'ils soient importants, sont en général transportés à une assez grande distance, et souvent ces transports ne peuvent se faire par bateaux. Dans ce cas, les produits sont d'abord versés en bateaux, puis repris à la brouette et chargés en wagons. Ce mode de procéder nécessite deux reprises de terre dont une en bateau. Ces terres délavées par l'eau, se prennent difficilement à la pelle, et les entrepreneurs ne trouvent qu'avec peine des ouvriers pour ce travail. Aussi, souvent la décharge arrête-t-elle la drague. La marche régulière et constante de cette dernière nécessite aussi beaucoup de bateaux. Ces deux motifs nous ont conduit à rechercher à simplifier le mouvement des terres en faisant charger directement par la drague les wagons placés en bateaux.

Description (Pl. 2, *fig.* 12, 13). — Les dispositions adoptées par M. Denuelle, entrepreneur du lot d'Ambly à Belleray, sont les suivantes :

Deux longrines placées au fond du bateau portent les rails. La faible hauteur du couloir de la drague ne permettait pas de poser la voie plus haut.

Une pente de 0,16 par mètre permet aux wagons de sortir du bateau. Pour passer sur la voie fixe de la voie sur bateau, on interpose une voie mobile dont les détails sont indiqués par les *fig.* 14 et 15. Cette voie mobile se compose de deux rails fixés par leurs patins sur deux traverses en fer plat. Des éclisses *m*, *n*, la relient aux voies ferrées sur bateau et sur terre. Ces éclisses, de petits rectangles en fer plat moins larges que le vide du rail, embrassent celui-ci de chaque côté et sont maintenues par des boulons à clavettes intérieures.

La berge près de laquelle aboutit la voie de terre a été dressée suivant un plan incliné, de manière à soutenir le bec du bateau.

Manœuvre. Plan général (*fig.* 13). — Le bateau, chargé de 6 wagons contenant chacun 1 mètre cube, est amené à peu près vis-à-vis de la voie de terre et en travers de la rivière. Deux pieux plantés l'arrêtent et maintiennent son axe exactement dans le prolongement de l'axe de la voie de terre. Au moyen de cordages, on l'approche ensuite assez près du bord pour laisser entre son extrémité d'aval et la voie l'espace nécessaire pour encadrer la voie mobile. Pendant cette manœuvre, un homme place cette dernière bout à bout contre la voie fixe du bateau et pose immédiatement les éclisses. Un petit mouvement en avant ou en arrière, permet la pose et le chevillage des éclisses de la voie de terre.

Cela fait, deux chevaux font sortir les deux premiers wagons. Leur passage, à l'extrémité du bateau fait plonger celui-ci de l'avant ; le jeu des éclisses permet ce mouvement mais le règle jusqu'à ce que la voie mobile et le talus de la berge l'arrêtent.

Dès que les deux premiers wagons sont engagés sur la voie mobile, on avance les 3e et 4e au pied de la rampe, et quand les 3e et 4e se mettent en mouvement, on avance

les deux derniers, jusqu'au milieu du bateau ; puis ils sont enlevés à leur tour.

Pour introduire les wagons vides sur le bateau, on les fait aussi entrer deux par deux au moyen d'un câble glissant autour d'une amarre voisine de la voie ferrée et à une distance de 5 mètres du bord de la rivière.

Toutes ces opérations durent environ cinq minutes.

Économie du système. — Sur le chantier de Dugny, on a employé les deux systèmes : le chargement en bateaux, et le chargement direct sur wagons.

Le relevé du nombre d'hommes et de chevaux travaillant douze heures par jour, nous a permis de dresser le tableau ci-joint :

TABLEAU

DU

PRIX DE REVIENT D'UN MÈTRE CUBE DE DRAGAGE.

TRANSPORT JUSQU'A 200 MÈTRES.

1° Chargement en bateaux.

Patron de la drague	5,50
Chauffeur et marinier	10,00
Ouvriers à la drague : 6 à 0,40.	28,80
Ouvriers au transport, à la décharge en bateau, — 18 à 0,45 — pour le travail en bateau.	97,20
à la charge en wagon et à la décharge — 11 à 0,40	52,80
Charbon brûlé	6,80
Réparations, entretien, huile	4,00
Amortissement de la drague	12,17
Amortissement de 5 bateaux	6,17
	223,44
Amortissement de 16 wagons	5,06
Chevaux : 2	14,00
Total	242 50

Soit pour 1 mètre cube : $\frac{242,50}{198} = 1^{f},22.$

2° Chargement direct en bateaux.

Patron de la drague	5,50
Chauffeur et marinier	10,00
Ouvriers à la drague : 7 à 0,40.	31,60
Ouvriers au transport et à la décharge : 17 à 0,40	81,60
Charbon brûlé	6,80
Réparations, etc.	4,00
Amortissement de la drague	12,17
	151,67
Amortissement de 3 bateaux	3,70
Amortissement de 18 wagons	5,68
Chevaux : 3	21,00
Total	182,05

Soit pour 1 mètre cube : $\frac{182,05}{192} = 0^{f},95.$

TRANSPORT DE 200 A 400 MÈTRES.

Report du premier total partiel ci-dessus	223,44
Amortissement de 24 wagons	7,58
Chevaux : 4	28,00
Total	259,02

Soit pour 1 mètre cube : $\frac{259,02}{198} = 1^f,31.$

Report du premier total partiel ci-dessus	151,67
Amortissement de 4 bateaux	4,93
Amortissement de 24 wagons	7,58
Chevaux : 5	35 00
Total	199,18

Soit pour 1 mètre cube : $\frac{199,18}{192} = 1^f,04.$

TRANSPORT DE 400 A 700 MÈTRES.

Comme ci-dessus, plus 2 chevaux :

$259,02 + 14,00 = 273,02.$

Soit pour 1 mètre cube : $\frac{273,02}{198} = 1^f,38.$

Comme ci-dessus, plus 2 chevaux :

$199,18 + 14,00 = 218,18.$

Soit pour 1 mètre cube : $\frac{213,18}{192} = 1^f,11.$

De ce tableau il ressort que l'économie du second système s'élève à $0^f,27$ par mètre cube, et atteint en moyenne le 1/5e du prix total.

Verdun, le 23 janvier 1879.

N° 4

NOTE

SUR

LE SYSTÈME DE DÉCINTREMENT A GALETS

POUVANT FONCTIONNER DANS L'EAU

Par M. HENRY, conducteur des ponts et chaussées.

Le système de décintrement à galets a pour objet de substituer le frottement de roulement au frottement de glissement des coins jumelés ou des crémaillères, que l'on emploie quelquefois au décintrement des voûtes, et, en outre, de permettre de décintrer dans l'eau.

Nous ne ferons pas une longue description de ce système; les *fig.* 1, 2, 3 (Pl. 2), rapportées à une grande échelle, et les quelques explications suivantes, suffisent pour donner une idée complète de sa construction et de la marche qu'on peut lui imprimer :

Entre la semelle inférieure *s* et la semelle supérieure *s'* du cintre, et de chaque côté de la voûte, sont placées deux séries de galets *g*, *g*, *g*,... séparées entre elles par une clef ou semelle mobile *m*, pouvant se mouvoir dans le sens longitudinal de la voûte et entraîner les galets dans des encoches inclinées *v*, *v*, *v*,...

Des coins jumelés, *c*, *c*, *c*,... placés entre les semelles, sont destinés à soulager les galets et à donner plus de stabilité au système pendant la construction.

Au moment du décintrement, on enlève les coins jumelés, en comprimant les semelles de bas en haut et de haut en bas, simultanément, au moyen d'un cric à pattes.

Deux leviers *l*, *l'*, ayant leurs points d'appui dans les galets moteurs P, P, P, placés aux têtes de la voûte, à l'une des extrémités de l'une des séries des galets ordinaires, servent à vaincre la résistance au *démarrage* du mouvement initial, à faciliter le roulement et à l'arrêter au besoin pendant son cours.

Deux flèches *f* fixées aux semelles inférieures correspondent à un même numéro des deux séries 1, 2, 3,... tracées symétriquement sur chacune des semelles mobiles, et servent à indiquer l'avancement progressif du décintrement.

Les rayons des galets étant ici de $0^m,10$, et la pente des encoches sur laquelle ils doivent rouler étant de $0^m,15$ par mètre, on voit que les 3/4 d'une révolution des galets, et même un peu moins, produisent un effet de descente de $0,0675 \times 2 = 0,135$. L'abaissement du cintre serait évidemment de $0,0675 \times 3 = 0,2025$, si des encoches de même forme et de même disposition, étaient pratiqnées dans la semelle inférieure.

Dans le cas où les leviers seraient insuffisants au démarrage, ou, ce qui est la même chose, dans le cas où la résistance au frottement de roulement des quatre séries de galets ordinaires serait plus grandes que le frottement de glissement des deux galets moteurs, on aurait recours à deux crics. Les deux leviers n'auraient plus alors qu'à continuer l'impulsion donnée par les crics, et à régler le mouvement de roulement des galets.

Le présent système de décintrement a été employé pour la première fois en 1875, par M. Chardard, ingénieur des ponts et chaussées, chargé du service des routes et des chemins vicinaux de l'arrondissement de Clamecy.

Nous avons eu l'honneur de le lui présenter à l'occasion d'un pont biais qu'il a eu à construire dans son service, sur la rivière de Chalaux, près de Lormes (Nièvre).

Ce pont a $2^m,65$ de hauteur sous clef. La portée de la

voûte, en section droite, est de $6^m,00$, sa montée de 0,75, et l'angle du biais de 60°.

Le fonctionnement de ce système de décintrement a eu lieu dans l'eau.

Extrait d'une lettre du 8 mai 1879 adressée par M. Chardard, ingénieur des ponts et chaussées, à M. Chatoney, inspecteur général des ponts et chaussées.

. . . .

Je dois ajouter toutefois qu'à mon avis, il faut adopter une très faible inclinaison pour les plans inclinés des deux semelles qui emboîtent un cours de galets. Au Chalaux, cette inclinaison était trop forte et, sous un effort relativement peu considérable, le décintrement s'est opéré beaucoup trop rapidement. C'est là une question d'expérience; car, je dois avouer que les calculs auxquels j'avais soumis le problème, n'ont pas été vérifiés. Il est permis de supposer que l'inclinaison en question devrait varier suivant les poids propres des fermes, ou mieux encore, que les entailles devraient présenter une forme se rapprochant de la cycloïde, au lieu de former un simple plan incliné.

Quoi qu'il en soit, et malgré les imperfections d'un premier essai, j'ai été fort satisfait de mon expérience, et je crois que, dans certains cas spéciaux, analogues à celui dans lequel je me trouvais, l'appareil à galets peut rendre de très réels services.

N° 5

NOTE

SUR

L'EXPLOSION D'UNE CHAUDIÈRE A VAPEUR DANS UNE SUCRERIE A CARVIN (PAS-DE-CALAIS).

Extraits du rapport de M. l'ingénieur ordinaire Duporcq.

Le 7 novembre 1878, à 4 heures 45 minutes du soir, une explosion de chaudière à vapeur, qui a eu des conséquences déplorables, s'est produite dans la fabrique de sucre de M. Menu-Lequien, à Carvin. C'était pendant une période de repos : sept jeunes ouvrières et un ouvrier étaient venus se chauffer sur les générateurs; les jeunes filles ont été tuées; l'ouvrier, grièvement brûlé, est mort des suites de ses blessures. La chaudière, reculant de 4^m,50 vers l'arrière, pendant que le fond plat de l'avant se détachait, a enfoncé les murs de la chambre de la machine, où se trouvait le contre-maître de la fabrique occupé à refaire un joint; celui-ci a été tué sur le coup. Du côté de l'avant, les bâtiments de la ferme ont été détruits, et des constructions situées de l'autre côté de la voie publique ont été gravement endommagées.

La fabrique de sucre de M. Menu-Lequien renfermait trois générateurs; les deux premiers se composaient d'un corps principal de très grand diamètre, à fonds plats, renfermant cinq tubes, surmonté d'un dôme et muni de deux bouilleurs (voir Pl. 2, *fig.* 4 et 5). Le corps principal avait 8^m,00 de longueur sur 2^m,10 de diamètre, les tubes 8^m,00 de longueur sur 0^m,30 de diamètre, et les bouilleurs 8^m,50 de longueur sur 0^m,70 de diamètre; la capacité inté-

rieure était de 30 mètres cubes et la surface de chauffe de 116 mètres carrés. Ces chaudières avaient été construites en 1855 et 1856 par M. Fontaine, à Lille; elles avaient servi dix ans dans une filature, à Marcq-en-Barœull; elles avaient été rééprouvées le 18 décembre 1866 dans les ateliers de M. Fontaine et timbrées à 4 kil. C'est l'une d'elles qui a fait explosion.

La troisième, timbrée également à 4 kil., se composait d'un corps cylindrique muni de deux bouilleurs et mesurait 15 mètres de capacité et 65 mètres carrés de surface de chauffe.

Ces trois chaudières avaient été déclarées en novembre 1869.

L'installation du service de l'alimentation était parfaitement convenable; la très faible épaisseur des dépôts dans les générateurs et l'absence de corrosions intérieures ont montré que les eaux dont on se servait étaient de bonne qualité.

Les appareils de sûreté, soupapes, manomètres, indicateurs de niveau, étaient établis conformément aux prescriptions réglementaires.

Mais si l'installation était conforme au règlement, il n'en était pas de même de la marche habituelle des générateurs sous le rapport de la pression : d'après les dépositions des chauffeurs eux-mêmes, la pression était ordinairement de 4^k 1/2 et elle atteignait fréquemment 5^k 1/2 et 5^k 3/4; les soupapes de sûreté étaient surchargées de briques ou de barres de fer.

Le 7 novembre, pendant le repos d'une demi-heure qui commence à 4 heures 30 minutes, la pression augmenta; le chauffeur de service, le sieur Delfosse, voyant qu'elle était de 5^k 3/4 à 4 heures 45 minutes, alla trouver dans la fabrique l'ouvrier chargé de la conduite des appareils à triple effet et lui demanda s'il n'était pas prêt à mettre en marche sa chaudière d'évaporation et s'il n'aurait pas

bientôt besoin de vapeur. Il quittait cet ouvrier et ne s'était encore éloigné de lui que de quelques pas, quand le générateur n° 1 a fait explosion dans les conditions suivantes.

Le fond plat de l'avant s'est déchiré, ainsi que le montre la *fig.* 6, Pl. 2. Il a été arraché par le haut suivant la ligne des rivets qui le fixaient à la cornière, et la cassure a suivi une ligne à peu près tangente au bord interne des têtes de rivets; quelques-unes de ces têtes ont été légèrement brisées sur leur côté regardant le centre du fond plat. Par le bas, la déchirure a suivi le bord interne des cinq tubes intérieurs, et ce bord interne a été brisé lui-même suivant la ligne d'emboutissage. Le tirant central a été cassé net, contre le fond plat; les deux tirants supérieurs ont été arrachés de leurs oreilles. Le fond plat a été projeté sur la droite, dans la cave des chauffeurs.

L'examen attentif de la déchirure a fait voir que, sur la gauche, la cassure avait été subite et qu'il n'y avait pas de tôle ployée, tandis qu'à droite les tôles arrachées ont été ployées vers l'extérieur aux points A, B, C de la figure 6. Le fond plat s'est donc tout d'abord détaché des tubes intérieurs et de la cornière du pourtour sur la gauche; une première ouverture s'est faite de ce côté, puis immédiatement, par l'effet de la production excessive de vapeur résultant de cette ouverture, le reste du fond plat s'est déchiré sur le haut tout le long de la cornière, s'est ployé suivant la ligne ABC le long de laquelle il s'est rompu, et a été lancé violemment à droite dans la cave des chauffeurs. Cette circonstance concorde avec le dire des personnes qui étaient près de l'établissement au moment de l'explosion, et qui ont d'abord entendu un bruit semblable à celui d'un échappement considérable de vapeurs, puis un coup sec et violent.

Sauf le fond plat d'avant déchiré, le reste du générateur est resté parfaitement intact; les deux bouilleurs ont été

trouvés en très bon état; le corps de la chaudière et les cinq tubes intérieurs n'ont pas souffert. L'intérieur de la chaudière ne renfermait presque pas de dépôts de tartre; ce générateur n'avait été, d'ailleurs, pour cette campagne, remis en feu que depuis six jours, et pendant l'été il avait été parfaitement nettoyé.

L'ensemble des faits montre immédiatement que l'explosion n'a pas été causée par un manque d'eau, suivi d'une alimentation intempestive; le fond plat d'avant a simplement cédé sous l'effort de la pression intérieure; il est évident qu'il ne faut pas attribuer l'accident à une autre cause, et il importe dès lors d'examiner avec détails dans quelles conditions était ce fond plat d'avant.

Le fond plat se composait de deux feuilles de tôle rivées entre elles comme le montre la *fig.* 4. Il n'était pas embouti sur son pourtour, mais relié au cylindre de $2^m,10$ de diamètre, constituant la chaudière, par une cornière de 12 millimètres d'épaisseur sur laquelle il était rivé; les rivets de cette cornière avaient 22 millimètres de diamètre, et ils étaient espacés d'axe en axe de 59 millimètres. Dans l'arrachement, la cornière est restée intacte; la déchirure s'est faite le long du bord interne des têtes de rivets, dont quelques-unes ont été légèrement cassées, et elle n'a présenté nulle part de traces de cassure ancienne.

Le fond n'avait qu'une épaisseur de $13^{mm},5$ pour la tôle inférieure dans laquelle venaient se fixer les cinq tubes intérieurs, et de $13^{mm},5$ à $13^{mm},8$ pour la tôle supérieure à laquelle étaient fixés les deux tirants supérieurs. Il a été retrouvé présentant un bombement très accentué.

Les cinq tubes intérieurs avaient 30 centimètres de diamètre et $11^{mm},5$ d'épaisseur; ils étaient reliés au fond plat d'avant, chacun par un tube conique de 50 centimètres de longueur, ayant d'un côté $0^m,30$ de diamètre et de l'autre $0^m,40$, et la même épaisseur de $11^{mm},5$. Chaque

tube conique était embouti à son extrémité de $0^m,40$ de diamètre, et la partie emboutie était fixée au fond plat par des rivets de 20 millimètres de diamètre, distants d'axe en axe de $0^m,060$. La partie emboutie était extérieure, comme le montrent les *fig.* 4 et 5, en sorte que le fond plat venait, dans l'intérieur de la chaudière, cacher le congé de l'emboutissage. Les cinq tubes ont été déchirés le long de la ligne de leurs congés, suivant la forme dessinée *fig.* 6, et il a été remarqué que les congés des deux tubes de gauche présentaient des cassures anciennes. Le premier tube de gauche présentait une ancienne cassure MN (*fig.* 6) de 22 centimètres de longueur, affectant les deux tiers de l'épaisseur de la tôle; le second tube, une ancienne cassure PQ de 15 centimètres de longueur, affectant la moitié de l'épaisseur de la tôte.

Trois tirants étaient destinés à consolider le fond plat.

Au centre, il y avait un tirant central formé par une barre de fer rond de $0^m,03$ d'épaisseur. Cette barre a été cassée en S (*fig.* 5 et 6), immédiatement contre l'écrou placé à l'intérieur du fond; la cassure en était nettement fraîche. Mesurée exactement, la longueur en a été trouvée égale à $8^m,24$, tandis que la longueur précise du générateur, prise entre les deux fonds, le long des génératrices de la chaudière, n'était que de $8^m,16$; il paraît donc que cette barre, sous l'influence des pressions intérieures ou de l'explosion, s'était allongée de $0^m,08$. Les attaches de cette barre aux deux fonds présentaient cette singularité, que les fonds étaient percés en leurs centres de trous de $0^m,40$ de diamètre, exactement semblables à ceux des tubes intérieurs, trous qui ont été bouchés par des plaques rivées. Quand cette chaudière a été construite en 1855 par M. Fontaine, il y avait six tubes intérieurs, ainsi que l'ont constaté les procès-verbaux d'épreuves; puis, quand la chaudière est revenue chez le constructeur en 1866 pour être vendue à M. Menu-Lequien, on y aura fait diverses

réparations et remplacé le tube central par un tirant après avoir sans doute reconnu l'insuffisance des tirants tout d'abord installés. Le procès-verbal de l'épreuve, faite le 18 décembre 1866, ne mentionne plus en effet que cinq tubes intérieurs, ce qui montre que l'installation du tirant central a été faite dix ans après la construction, mais avant la livraison des appareils à M. Menu-Lequien.

Deux autres tirants, formés par des barres de fer plat, de 49 millimètres sur 24, étaient installés à la partie supérieure, comme le montrent les *fig.* 5 et 6. Chaque tirant était relié, d'une part au fond plat, d'autre part à une génératrice de la partie supérieure de la chaudière, par deux oreilles de $0^m,20$ de longueur, formées de fer en cornière et rivées chacune, soit au fond plat, soit à la chaudière, par trois rivets de 20 millimètres de diamètre. Quant au tirant, il était fixé à chaque paire d'oreilles par deux clous de 20 millimètres de diamètre.

Comme ces deux tirants supérieurs supportaient seuls l'effort exercé sur toute la partie supérieure de la paroi plane, ils avaient à résister à une fatigue considérable, et leurs attaches portent les traces indéniables de leur insuffisance. Le tirant de gauche était rompu sur les deux tiers de sa section, en R (*fig.* 5 et 6); cette cassure était ancienne, car les parois en ont été trouvées remplies de tartre et de rouille vieille et noire. Les deux oreilles O^1 et O^2 (*fig.* 4), qui reliaient ce tirant au fond plat, étaient cassées avant l'explosion (*fig.* 7); il n'en restait plus que les moitiés adhérentes au fond; les parties cassées, *a*, *b*, *c*, *d*, pour l'oreille O^1, *e*, *f*, *g*, *h*, pour l'oreille O^2, étaient remplies de tartre, de rouille noire, et l'aspect de ces cassures montrait à l'évidence que ces deux oreilles étaient rompues depuis longtemps. Chacune d'elles, O^1 et O^2, était restée attachée au fond par les trois rivets, et ces rivets n'étaient nullement fracturés. Enfin le tirant de gauche montrait les deux trous, dans lesquels avaient dû passer les clous l'attachant

aux oreilles O^1 et O^2, remplis de tartre, ne présentant aucune déchirure et n'étant pas ovalisés. Ces détails apprennent que le tirant de gauche ne fonctionnait plus depuis longtemps. S'il avait encore fonctionné comme tirant au moment de l'explosion, la barre aurait achevé de se rompre au point R, où existait une vieille cassure affectant les deux tiers de la section : les six rivets fixant les oreilles O^1 et O^2 au fond plat auraient été plus ou moins cassés, et d'ailleurs les cassures *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, *g*, *k* (*fig.* 7) n'auraient pas offert l'aspect évident d'une très ancienne rupture.

Le tirant de droite ne présentait pas de fracture. Les oreilles O^3 et O^4, qui l'attachaient au fond d'avant, offraient les détails suivants (*fig.* 8 à 11). L'oreille O^3 (*fig.* 8) était cassée suivant une ligne *klmn*, entre les trois rivets; la cassure était en partie vieille, en partie fraîche. Ce qui montre, d'ailleurs, qu'il y a eu résistance de cette oreille lors de l'explosion, c'est que les trois rivets étaient fraîchement rompus par leur bord interne. L'oreille O^4 a été cassée suivant une ligne *pqr*; la cassure était entièrement fraîche. Ces deux oreilles O^3 et O^4 étaient restées attachées au fond projeté.

Le tirant (*fig.* 9) était attaché aux deux oreilles O^3 et O^4 par deux clous de 20 millim. de diamètre et 12 centim. de longueur. Le clou T^1 était resté attaché au tirant comme l'indiquent les *fig.* 6 et 9; il était anciennement cassé sur les deux tiers de sa section, c'est-à-dire sur la partie bordée d'un trait noir dans la *fig.* 11, et il ne tenait plus que par le tiers inférieur de sa section, lequel tiers a présenté seul l'aspect d'une cassure fraîche. Quoique déjà fortement rompu avant l'accident, il remplissait toutefois encore assez bien le trou correspondant T^1 du tirant pour que ce trou n'ait pas été garni de tartre à l'intérieur. Ce même clou T^1 était en outre usé à sa partie inférieure *tt* sur plus de 1 millimètre d'épaisseur; le trou correspondant était ovalisé, et le poli de l'usure *tt*, joint à l'ovalisation du trou,

indique assez quel jeu il y avait et combien peu servait ce clou. Quant au clou T^2, qui était resté attaché à l'oreille O^4, il était cisaillé et poli sur toute la partie *uvw* (*fig.* 10), c'est-à-dire sur les trois quarts au moins de sa section; il ne tenait presque plus, un quart de sa section à peine offrant une cassure fraîche; le trou correspondant du tirant était considérablement ovalisé et rempli de tartre. Le tirant de droite ne fonctionnait donc plus que très peu; une oreille O^3 avait une cassure ancienne importante; les clous étaient usés ou cassés en très grande partie et le fonctionnement de ce tirant de droite ne pouvait qu'être absolument illusoire dans ces conditions.

L'examen des attaches de ces deux tirants à la partie cylindrique, et de celles des tirants opposés, soit au fond plat, soit à la partie cylindrique, de même que l'examen des attaches des tirants semblables de l'autre générateur, a montré que partout la liaison entre les tirants et leurs oreilles était tout à fait insuffisante; les clous qui devaient réaliser cette liaison étaient fatigués à l'excès, en partie cassés, et plusieurs d'entre eux ont pu être enlevés facilement à la main; la diversité des types auxquels ils appartenaient a prouvé qu'ils avaient dû être remplacés souvent et que ce remplacement avait été effectué à l'aide de clous de modèles quelconques, tandis que la liaison eût dû être faite au moyen de rivets pour rendre les tirants complètement solidaires de leurs oreilles. En fait, les deux clous qui reliaient l'extrémité de chaque tirant aux parois de la chaudière supportaient seuls tout l'effort exercé contre la paroi plane et il n'est pas étonnant qu'ils se soient usés et cisaillés sous cet effort.

Enfin, la tôle même qui constituait le fond plat d'avant péchait par la qualité : quatre plaques ont été découpées dans cette tôle, dans les parties voisines de la déchirure survenue le long de la cornière du pourtour; des barres d'essai ont été taillées suivant la forme habituelle dans ces

plaques, et elles ont donné aux expériences de traction les résultats consignés au tableau ci-dessous :

NUMÉRO de l'essai.	DIMENSIONS de la barre soumise à l'essai.			CHARGE par millimètre carré à laquelle		ALLONGE-MENT	ASPECT DE LA TÔLE à la cassure.
	Lar-geur.	Épais-seur.	Sec-tion.	l'allonge-ment a commencé.	la rupture s'est produite.		
	mm.	mm.	mm.	kilog.	kilog.	p. 100.	Dans les quatre essais l'allongement n'a eu lieu d'une manière sensible qu'en approchant de la limite de rupture.
1	13,53	22	299	22	28	3,5	
2	13,62	22	300	13	30	4,0	La cassure de la tôle présente de petites lamelles courtes et pas le moindre nerf.
3	13,55	22	298	31	31	3,5	
4	13,74	22	303	20	31	4,5	Tôle absolument aigre, cassante, sèche. Cassure brusque.

Il ressort de ces expériences que la tôle employée pour le fond plat d'avant avait une ténacité suffisante, puisque les charges nécessaires pour opérer le commencement d'allongement et la rupture ont été assez élevées. Mais elle manquait absolument de la ductilité indispensable aux tôles de chaudières à vapeur ; elle n'a pu supporter avant la rupture qu'un allongement de $3\frac{1}{2}$ à $4\frac{1}{2}$ p. 100, chiffre tout à fait inférieur aux valeurs considérées comme nécessaires. La tôle employée pour le fond plat qui s'est déchiré était essentiellement sèche et cassante, et ce défaut s'est révélé en outre dans les essais par une cassure brusque et par un allongement qui ne se produisait d'une manière sensible qu'en approchant de la limite de rupture.

En outre, une plaque a été posée sur deux appuis hauts de 8 millimètres et distants l'un de l'autre de $0^m,135$; un léger coup de marteau pilon a été donné au milieu pour opérer la flexion, de 8 millimètres de flèche seulement sur cette base de 135, et la tôle n'a pu supporter cette flexion sans se rompre.

En résumé, les causes de l'explosion résident, d'une part, dans les vices de construction qui ressortent des faits relatés ci-dessus, d'autre part, dans l'insuffisance de l'entretien et dans la marche à pression surélevée.

I. *Vices de construction.* — 1° La tôle employée pour la construction du fond plat était de mauvaise qualité, et d'une épaisseur beaucoup trop faible, vu surtout l'insuffisance des armatures destinées à la consolider.

2° Ces armatures étaient complètement insuffisantes comme nombre et leur disposition était vicieuse.

Pour que la tôle d'une paroi plane ne tende pas à se gondoler et à se fatiguer, soit au congé de l'emboutissage si la tôle est emboutie, soit par cisaillement près des rivets de la couture circulaire, si la tôle est fixée sur une cornière comme dans le cas présent, il faut que les armatures soient capables de supporter toute la pression exercée sur le fond plat. La portion supérieure du fond plat, sous une tension de 4 kilog., supportait une charge d'environ 50.000 kilog. Sans doute, cette charge était supportée non seulement par les deux tirants supérieurs, mais encore par la couture circulaire et par les tubes supérieurs; mais si on avait voulu que cette couture ne travaillât pas par cisaillement, que les tubes ne fussent pas fatigués à leur congé, il eût été prudent de rendre les tirants capables de résister à toute la charge. Or, les deux tirants supérieurs, ayant une section de 49 millimètres sur 24, auraient eu à supporter une charge de 20 kilog. par millimètre carré, et les quatre clous qui reliaient ces tirants aux oreilles et qui avaient 20 millimètres de diamètre, auraient eu à supporter par cisaillement une charge de 40 kilog. par millimètre carré.

Les deux tirants supérieurs étaient donc insuffisants comme section, leur mode d'attache par deux clous était essentiellement vicieux, et il n'est pas étonnant que, dans les conditions des efforts auxquels ils avaient à résister, le

tirant de gauche ait été cassé, et les clous d'attache cassés et cisaillés comme il a été dit précédemment.

Enfin, ces armatures de fond plat doivent être d'autant plus renforcées qu'on doit redouter des effets d'inégale dilatation : or, dans la chaudière de M. Menu-Lequien, les flammes, après avoir parcouru les deux bouilleurs inférieurs, revenaient par les cinq tubes intérieurs de la chaudière, puis léchaient la moitié du corps cylindrique avant d'aller à la cheminée; la partie inférieure de la chaudière était donc, par ses cinq tubes intérieurs, par toute sa surface inférieure, soumise à l'action des flammes; bien que l'eau et les vapeurs intérieures servissent de régulateur, il n'en est pas moins vrai que des dilatations inégales s'opéraient forcément entre le haut et le bas de la chaudière, et la longueur de cette chaudière, 8 mètres, arrivait à rendre assez sensibles les différences de dilatation.

En somme, le défaut des armatures a certainement eu, dans les causes de l'accident, un rôle prépondérant.

3° Les tubes intérieurs étaient emboutis, et le congé de l'emboutissage était masqué par la paroi plane, de telle sorte qu'on ne pouvait, dans les visites intérieures, examiner l'état de ces congés; on ne pouvait donc découvrir les cassures anciennes MN, PQ, des deux tubes de gauche, qui, jointes à l'absence de fonctionnement du tirant de gauche et au fonctionnement presque nul du tirant de droite, affaiblissaient singulièrement la résistance du fond plat.

II. *Marche vicieuse et insuffisance d'entretien.* — 1° Les soupapes étaient constamment surchargées, la marche habituelle variant de 4k 1/2 à 5k 1/2, a nécessairement hâté l'usure et la détérioration des organes faibles, d'où est résulté le manque de résistance du fond plat.

2° Enfin l'état dans lequel ont été trouvés les tirants et leurs attaches prouve que le générateur a été mal entretenu, et la négligence apportée dans cet entretien a été une des causes graves de l'explosion, puisqu'elle a eu pour

résultat de priver de ses deux armatures la partie supérieure du fond plat que sa trop faible épaisseur rendait déjà insuffisamment résistant.

Avis de la Commission centrale des machines à vapeur.

La Commission centrale des machines à vapeur, dans sa séance du 7 janvier 1879, a, sur la proposition de M. l'ingénieur en chef Luuyt, rapporteur, émis l'avis suivant :

« La Commission centrale est d'avis que l'explosion d'un générateur dans la sucrerie Menu-Lequien à Carvin est due à une construction vicieuse et mauvaise, ainsi qu'au mauvais fonctionnement de l'appareil. Les fautes de construction consistent : en l'emploi sur le fond antérieur d'une tôle trop mince et de mauvaise qualité pour une grande surface insuffisamment armée et surtout en l'insuffisance des armatures reliant le fond antérieur au fond opposé et à la surface cylindrique; on n'y trouvait que des tirants de section insuffisante et encore plus insuffisamment reliés aux parois; on aurait dû employer de larges goussets fixés par plusieurs rivets à des oreilles s'appuyant elles-mêmes sur les parois par des surfaces étendues. Par suite de cette même lacune de tirants, les extrémités embouties des tubes intérieurs se sont déchirées à l'angle, parce que les efforts de traction exercés sur ces tubes n'étaient pas suffisamment diminués par des armatures convenables et que, la disposition des tôles masquant d'un côté l'angle des congés, les fentes auraient échappé à une surveillance exercée. A l'autre extrémité des tubes, la disposition n'était pas la même et les fentes étaient visibles; mais on n'y avait jamais regardé.

Le mauvais fonctionnement de l'appareil consiste en un entretien insuffisant, les tirants et les oreilles étaient rompus en partie depuis longtemps sans que l'on s'en fût

aperçu ; les attaches primitives de ces tirants ayant été détruites avaient été remplacées par des ferrures encore plus insuffisantes.

Enfin, une pression habituellement excessive a contribué à l'explosion.

La Commission estime que cette affaire comporte plusieurs enseignements utiles, et qu'il y a lieu de demander l'insertion d'un extrait du rapport de M. Duporcq, dans les *Annales des mines* et dans les *Annales des ponts et chaussées.*

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES.

CHRONIQUE.

Janvier 1880.

N° 6

Remarque concernant la méthode graphique pour la détermination de la distance moyenne de transport des déblais en remblais dans l'exécution des travaux de terrassements, exposée dans le Mémoire N° 42 du cahier du mois d'août 1879 des *Annales des ponts et chaussées* (*).

Par M. KLEITZ, inspecteur général des ponts et chaussées en retraite.

Pour justifier la méthode très ingénieuse, très simple et très exacte qui est représentée par la *fig.* 2 de la Pl. 19, M. Lalanne commence (page 81 et suivantes) par traduire géométriquement, par la *fig.* 1, les mouvements de terre calculés dans le tableau de la page 80, et il montre ensuite, par une comparaison détaillée, que les surfaces exprimant les moments des transports de déblais sont équivalentes dans les deux figures. — M. Lalanne aurait pu dresser immédiatement la *fig.* 2, comme donnant exactement les distances moyennes de transport, en rappelant que, n'importe la distribution détaillée des cubes partiels de déblais pour leur emploi en remblai, la distance moyenne de transport est toujours égale à la distance qui sépare les centres de gravité du cube total des déblais et du cube total des remblais. — Ce petit théorème est sans doute bien connu. En voici néanmoins la démonstration bien simple.

(*) Cette note, adressée à M. Lalanne, n'était pas destinée à la publicité. Son insertion aux *Annales* a été décidée sur la proposition du Président de la Commission.

Je suppose qu'après avoir calculé, pour chaque entre-profil, les cubes des déblais et des remblais en excès, on ait déterminé les cubes des déblais à retrousser et ceux des remblais à former par emprunts, et qu'on les ait retranchés respectivement des déblais et des remblais du projet. Le cube total des déblais restant est alors égal au cube total des remblais réduits. On détermine très facilement les retroussements et les emprunts par la méthode de M. Lalanne, c'est-à-dire en représentant, comme dans la *fig.* 2, les déblais en excès par des échelons montants et les remblais en excès par des échelons descendants.

Cela posé je désigne :

Les cubes partiels ou élémentaires dans lesquels on peut décomposer virtuellement les cubes. . .	en déblai.	δD
	en remblai. . . .	δR
L'abscisse, à partir d'une origine arbitraire, d'un cube élémentaire.	en déblai.	x_d
	en remblai. . . .	x_r
L'abscisse du centre de gravité de l'ensemble des cubes de déblais par.		G_d
Abscisse du centre de gravité de l'ensemble des cubes de remblais par.		G_r
Le cube total des déblais par.		D
Le cube total des remblais par.		R
La distance du centre de gravité du déblai élémentaire quelconque δD au centre de gravité G_d par.		y_d
La distance du centre de gravité du remblai élémentaire quelconque δR par.		y_r
La distance à laquelle un cube élémentaire δD est transporté par. . .		l

Les nombres y_d et y_r sont positifs ou négatifs suivant que δD et δR sont au delà ou en deçà des centres de gravité correspondants.

On a d'abord :

$$x_d = G_d + y_d, \qquad x_r = G_r + y_r;$$
$$l = x_r - x_d = G_r + y_r - G_d - y_d.$$

Chaque cube δD étant égal au cube δR qu'il doit former, on peut multiplier les termes de cette équation par δD ou par δR indifféremment, en sorte qu'on a :

$$l\,\delta D = G_r \delta R + y_r \delta R - G_d \delta D - y_d \delta D,$$

et pour l'ensemble des déblais et des remblais :

$$\Sigma l \delta D = RG_r + \Sigma y_r \delta R - DG_d - \Sigma y_d \delta D.$$

Or, on sait que $\Sigma y_r \delta R$ et $\Sigma y_d \delta D$ sont nuls, et comme $D = R$, on a en définitive

$$\Sigma l \delta D = D(G_r - G_d).$$

C'est ce qu'il fallait démontrer.

Une remarque est à faire : si tous les transports n'ont pas lieu dans le sens des abscisses positives et que certains d'entre eux s'effectuent en sens contraires, ces derniers sont compris, dans la formule générale qui précède, comme des quantités négatives.

L'expression $D(G_r - G_d)$ ne donne plus le moment total des transports. En désignant les moments positifs par P et les moments négatifs par N, on a :

$$P - N = D(G_r - G_d).$$

Le moment total des transports effectués est alors :

$$P + N = D(G_r - G_d) + 2N.$$

Dans les applications, on est naturellement conduit à distinguer et à séparer les transports qui se font en sens inverses. Dans la figure à échelons des déblais et des remblais en excès, les deux *sens de transport* correspondent aux surfaces supérieures et aux surfaces inférieures à la ligne de base XY.

Paris, le 6 octobre 1879.

N° 7

Détermination de l'emplacement d'un pont à établir sur le Danube dans le voisinage et à l'Est de Silistrie.

Par M. L. LALANNE, Inspecteur général des ponts et chaussées.

L'article 2 du traité conclu à Berlin le 13 juillet 1878 assigne pour limite à la principauté de Bulgarie, du côté du Nord, la rive droite du Danube depuis l'ancienne frontière de Servie jusqu'à un point à déterminer, par une Commission européenne, à l'Est de Silistrie ; la frontière se dirige de ce point vers la mer Noire, au Sud de Mangalia, qui est rattaché au territoire roumain. L'article 46 confirme cette limite en ce qui concerne la Roumanie.

Une Commission européenne, instituée en vertu de ces deux articles 2 et 46, s'était réunie pour la première fois le 21 octobre 1878 à Constantinople. Le 17 décembre suivant, de retour dans la même capitale, après avoir tenu 13 séances en différents points, notamment à Silistrie et aux environs, elle déclarait close la première série de ses travaux, et s'ajournait au 15 avril 1879. Elle avait préalablement voté le 5 novembre, dans la sixième séance tenue à Silistrie, à la majorité de six voix contre une, la proposition faite par le commissaire français, M. le commandant Lemoyne, conformément au protocole 15 des actes du congrès de Berlin, de fixer le point d'attache de la nouvelle frontière à l'Est de Silistrie, à 800 mètres du bastion Nord-Est de cette ville, ce point ayant été reconnu comme le plus convenable pour l'établissement d'un pont qui relierait les deux rives roumaines du fleuve.

Mais le délégué de Russie ayant déclaré qu'il n'était pas autorisé à donner son consentement aux travaux de la Commission, et notamment à la décision qui avait fixé le point de départ près de Silistrie, le Gouvernement russe a demandé que la question fut soumise à un nouvel examen.

Les autres Puissances signataires du traité de Berlin y ont consenti et se sont mises d'accord pour confier à une Commission technique le soin de rechercher s'il est possible d'édifier à la frontière roumano-bulgare un pont sur le Danube ailleurs qu'à l'endroit fixé par la Commission de délimitation de Bulgarie, et dans

quelles conditions une telle construction pourrait être exécutée. — Les Cabinets sont convenus que leurs délégués se réuniraient à Silistrie le 27 octobre.

La première réunion de la *Commission technique européenne* a eu lieu, à cet effet, à la date et au lieu fixés. Les commissaires étaient :

Pour l'Allemagne, M. Heyde, major à l'État-major du Génie;

Pour l'Autriche-Hongrie, M. Jaeger, colonel d'État-major;

Pour la France, M. L. Lalanne, inspecteur général de 1re classe au Corps national des ponts et chaussées, directeur de l'École, membre de l'Institut;

Pour la Grande-Bretagne, M. Sale, capitaine du Génie, assisté de M. Caillard, lieutenant du Génie;

Pour l'Italie, M. le chevalier de Sponzilli, major du Génie;

Pour la Russie, M. Struve, général du Génie, assisté de M. l'ingénieur Karischef, chef de l'exploitation du chemin de fer Bendero-Galatz;

Pour la Turquie, M. Yahya-Pacha, Général de brigade, assisté de M. Gabriel Effendi Noradounghian, comme secrétaire.

Ainsi, parmi les commissaires en titre, celui de la France était le seul qui ne fut pas militaire.

Immédiatement après la vérification mutuelle des pouvoirs, et *dès la première* séance, le commissaire français a été élu président par l'unanimité des délégués des autres puissances.

Les délibérations et les travaux de la Commission se sont succédés sans interruption depuis le 27 octobre jusqu'au milieu du mois du novembre. Elle a entendu contradictoirement les représntants de la Bulgarie et de la Roumanie; elle a exploré en leur présence, sur les deux rives du Danube et sur le cours même du fleuve, les emplacements signalés comme propices à l'établissement du pont. Les délibérations, d'après une décision que dictaient les convenances les plus élémentaires, ont dû et doivent être tenues secrètes, jusqu'à ce qu'une décision ait été prise par les Puissances contractantes.

Il suffira de dire ici que la question à résoudre, envisagée uniquement au point de vue technique, offre un intérêt particulier qui n'échappera pas aux ingénieurs lorsqu'ils sauront qu'il s'agit de traverser un fleuve par un pont dont le débouché linéaire ne devra guère être inférieur à 1500 mètres, dont certains supports seront fondés sous 8 mètres au moins de profondeur d'eau à l'étiage, à travers un fond de vase dont l'épaisseur paraît très grande, et qui ne sera guère moindre que 12 ou 15 mètres dans les

circonstances les plus favorables, la hauteur des grandes eaux au-dessus de l'étiage pouvant d'ailleurs atteindre 7 à 8 mètres. La nécessité de laisser un libre passage aux nombreux navires à voiles qui sillonnent le fleuve dans les deux sens, et par conséquent d'avoir au moins une travée mobile, ou de donner au tablier de l'arche marinière une surélévation d'environ 25 mètres au-dessus des hautes eaux de navigation, ajoute aux difficultés du problème. Aucun pont fixe n'existe sur le Danube au-dessous de Buda-Pest, où le lit du fleuve resserré entre des quais occupe déjà 400 mètres de largeur, à plus de 1300 kilomètres au-dessus de Silistrie. Dans l'intervalle, il a reçu de très nombreux affluents, dont les principaux ou du moins les plus connus sont : la Drave, la Save, la Morava, la Mlava, le Pek, le Timok, l'Isker, le Vid, la Jantra et les deux Lom sur la rive droite; la Theiss, la Temès, le Djioul, l'Aluta ou Olto, la Vede et l'Ardgisch sur la rive gauche.

Entre Tourtoukaï et Oltenitza, réduit à un bras unique, il offre déjà plus de 700 mètres de largeur au bas étiage. Silistrie est à plus de 50 kilomètres au-dessous de Tourtoukaï.

Mais ce n'est pas seulement l'établissement d'un pareil ouvrage qui peut être considéré comme un problème difficile à résoudre Le choix de l'emplacement lui-même, et, une fois ce choix fait, l'étude des dispositions à prendre et du système de construction le mieux approprié, ont une importance qui domine tout naturellement les questions relatives à l'exécution. Or, la Commission européenne, dès sa première réunion à Silistrie, a pu constater qu'aucune étude préliminaire sérieuse n'avait été faite qui lui permît de se prononcer autrement qu'à la suite d'explorations et d'un examen comparatif et contradictoire faits par elle-même. Cependant les éléments recueillis et les observations relevées sur les lieux l'ont mise à même d'émettre, à l'unanimité moins une voix, une opinion très nette, sur le choix de l'emplacement jugé le meilleur.

Il nous suffira de mentionner, sans entrer dans aucune considération de fond étrangère à la nature de ce Recueil, la cause principale des débats qu'a soulevés, avant que les Puissances se fussent mises d'accord par la nomination de la *Commission technique*, la question de l'emplacement du pont et par conséquent de la détermination du point frontière sur la rive droite du Danube, entre la nouvelle principauté de Bulgarie et la Dobroutcha attribuée à la Roumanie par le traité de Berlin. C'est que, de la détermination de ce point, et du tracé de la frontière qui en est la conséquence sur une certaine étendue, dépendra la possession

de la colline qui lors du siège de Silistrie en 1854, couverte à la hâte de quelques ouvrages de campagne, et défendue par le contingent égyptien, acquit une si grande célébrité sous le nom d'*Arab-Tabia* (forteresse des Arabes). On conçoit donc que, d'un côté la Bulgarie à laquelle le traité de Berlin a laissé la ville de Silistrie, et que de l'autre la Roumanie qui va s'étendre sur les deux rives du fleuve, tiennent beaucoup à posséder cette formidable position.

La Commission n'a pas eu à se préoccuper de cet ordre d'idées; elle a entendu les délégués des deux principautés, et leur a laissé toute latitude pour le développement des arguments à l'appui de leurs causes respectives; mais elle s'est renfermée dans le cercle de ses attributions purement techniques.

Ce qui n'est pas, non plus, sans intérêt pour les ingénieurs des ponts et chaussées, c'est qu'un des membres de leur Corps ait été désigné pour représenter la France dans le sein d'une commission internationale chargée d'émettre un avis sur l'exécution partielle d'un traité qui fera certainement époque dans l'histoire des remaniements de la carte d'Europe; c'est que, par une courtoisie dont il ne peut être que reconnaissant mais dont il doit rapporter tout l'honneur à son pays et aux Corps auxquels il appartient, la Commission, après l'avoir appelé à la présidence, lui ait témoigné, pendant tout le cours de ses travaux, des égards et des sentiments dont elle a voulu consigner l'expression au procès-verbal de sa dernière séance, tenue à Bucarest le 11 novembre dernier.

N° 8

ÉCOLE DES PONTS ET CHAUSSÉES.

ANNÉE D'ÉTUDES 1879-1880.

ALLOCUTION PRONONCÉE

A L'OUVERTURE DES COURS, LE 3 NOVEMBRE 1879.

PAR M. TARBÉ DE SAINT-HARDOUIN,
Inspecteur général des Ponts et Chaussées, présidant par intérim le Conseil de l'École.

Messieurs,

En l'absence de votre éminent Directeur, mon savant collègue et ami M. Lalanne qui accomplit en ce moment sur les bords du Danube une importante mission, j'ai été appelé à l'honneur de présider le Conseil de l'École et je viens, à ce titre, vous présenter quelques observations sur les conditions exceptionnelles dans lesquelles doivent s'accomplir, cet hiver, les 2ᵉ et 3ᵉ années d'études.

Le grand développement donné aux travaux publics depuis deux ans, et dont plusieurs d'entre vous ont été témoins pendant leurs missions, a fait ressortir l'insuffisance du nombre des ingénieurs des ponts et chaussées : l'appel fait aux ingénieurs civils a produit peu de résultats et les ressources précieuses que fournit le corps des conducteurs ne sauraient suffire aujourd'hui à combler tous les vides.

Pour être en mesure de faire face à des besoins pressants, M. le Ministre a donc décidé que les cours de 3ᵉ année se termineraient au 31 décembre 1879 et que les élèves de 1ʳᵉ classe seraient immédiatement après chargés des fonctions d'ingénieur ordinaire dans les départements, avec le titre d'élèves hors de concours.

De leur côté, les élèves de 2ᵉ classe quitteront l'école à la fin de l'année scolaire et seront placés dans les départements dès le 1ᵉʳ août 1880.

Ces mesures ne sont pas nouvelles.

Il y a 40 ans, dans des circonstances semblables, plusieurs promotions ont vu supprimer complètement la 3ᵉ année d'études, et leur avenir n'en a pas souffert, car un grand nombre d'ingénieurs

qui en faisaient partie siègent aujourd'hui au conseil général des ponts et chaussées après la carrière la mieux remplie.

Vous serez du reste, Messieurs, plus favorablement traités : les programmes des cours de la 2e et de la 3e année ont été remaniés et condensés de manière à ce que vous puissiez entendre, avant de quitter l'école, l'exposé des connaissances essentielles au service de l'ingénieur, c'est-à-dire tout ce qui manque encore au bagage scientifique que l'école vous a donné.

Je dois appeler spécialement votre attention sur la grande utilité du cours de droit administratif.

A peine en possession d'un service d'ingénieur, vous serez aux prises avec des difficultés de toutes natures résultant de vos relations avec les propriétaires, les entrepreneurs, les autorités départementales, le service militaire, les administrations financières, les associations syndicales, etc.

L'étude attentive du droit administratif sera votre boussole et pourra seule vous empêcher de vous égarer dans de fausses démarches qui compromettraient votre caractère et pourraient atteindre l'administration elle-même.

Afin d'augmenter le plus possible le nombre des leçons qui pourront vous être faites, on a dû supprimer les concours et les examens pour les élèves-ingénieurs de 3e année, de sorte que le classement du mois de juin dernier leur sera conservé. Ces épreuves seront au contraire maintenues pour les élèves-ingénieurs de 2e année, ainsi que pour tous les élèves externes.

En arrêtant ces mesures dictées par votre intérêt, le Conseil de l'école a confiance qu'elles ne diminueront en rien les habitudes d'assiduité et de travail dont les élèves de 1re classe ont fait preuve depuis deux ans.

Le juste sentiment de la position nouvelle que vous allez occuper plus tôt que vous ne deviez l'espérer, et la conscience des responsabilités graves qui pèseront alors sur vous, vous conduiront à redoubler d'efforts pendant les deux mois qui vous sont accordés, afin de vous mettre à même de porter dignement le titre d'ingénieur des ponts et chaussées qui a été depuis tant d'années le but de vos travaux.

Et, à cette occasion, permettez-moi de terminer par quelques mots sur la nature des services auxquels vous pouvez être appelés.

Par suite d'un sentiment très naturel, et que nous avons tous partagé, chacun en sortant de l'école désire être attaché à de grands travaux ; mais, au début de la carrière, une semblable bonne fortune est généralement exceptionnelle, et je voudrais

réagir dans votre esprit contre la défaveur qui s'attache parfois au service ordinaire, et qui motive de la part des jeunes ingénieurs de fréquentes demandes de changement.

Ce sentiment se traduit souvent par une phrase familière : « *Le service ordinaire de la voie consiste à faire casser des cailloux sur les routes.* »

Cette appréciation est absolument injuste et inexacte, comme vous serez à même de le constater bientôt.

Le service ordinaire, réuni presque partout aujourd'hui au service hydraulique (et fréquemment aussi au service vicinal), est pour les ingénieurs, le complément presque nécessaire de l'éducation professionnelle et une véritable école d'administration, de telle sorte que ceux qui n'ont pas passé par cette épreuve s'aperçoivent souvent qu'il leur manque quelque chose à la fin de leur carrière.

Soyez d'ailleurs convaincus que partout il est possible à un jeune ingénieur de donner la mesure de son zèle et de sa capacité, et d'en trouver un utile emploi.

Avec l'amour de son métier, l'esprit d'ordre, l'étude des détails, un dévouement constant à ses devoirs, on peut, dans les services de département tout aussi bien que dans les services extraordinaires, acquérir des titres à la bienveillance de l'administration et des droits particuliers à l'avancement.

N'est-ce pas dans la résidence la plus délaissée des Hautes-Alpes que mon camarade M. Surell a trouvé l'occasion de faire ces belles études sur les torrents qui ont illustré son nom ?

N'est-ce pas en rédigeant de simples projets de routes départementales dans une petite résidence de la Manche que votre Directeur, M. Lalanne, a conçu la première idée de ses tables de déblais, de ses tableaux graphiques, enfin de tout cet ensemble d'ingénieuses et savantes recherches qui, après lui avoir ouvert les portes de l'Institut, reçoivent, en ce moment de si larges et si utiles applications pour la rédaction des projets de chemins de fer?

Enfin, si, après de tels noms, il était permis de parler de soi je vous dirais que j'ai été presque toujours attaché au service ordinaire et à des travaux d'entretien, et que j'ai pu, néanmoins, arriver pas à pas au grade d'inspecteur général de 1re classe qui est le suprême honneur de notre carrière.

Soyez donc confiants dans l'avenir, Messieurs, et disposés d'avance à vous attacher au service qui vous sera donné.

C'est un moyen sûr d'y réussir.

N° 9

BULLETIN BIBLIOGRAPHIQUE.

OUVRAGES FRANÇAIS.

1879.

1° Mathématiques pures.

BRIOT (C.). — Théorie des fonctions abéliennes; par M. Ch. Briot, professeur à la Faculté des sciences. In-4°, XIX-182 p., Paris, imp. et lib. Gauthier-Villars. (5 novembre).

DECHARME (C.). — Sur les formes vibratoires des corps solides et des liquides. Premier mémoire : Plateaux circulaires; par C. Decharme, professeur de physique à l'École préparatoire à l'enseignement des sciences et des lettres. In-8°, 70 p. et 5 pl. Angers, imp. Lachèse et Dolbeau.

DEJEAN DE FONROQUE (N.).—Du pendule; théorie de ses variations; par Numa Dejean de Foroque. In-8°, 32 p. Paris, imp. Chamerot. (8 septembre.)

EMMANUEL (D.). — Étude des intégrales abéliennes de troisième espèce; par D. Emmanuel, docteur ès sciences mathématiques. In-4°, 33 p. Paris, imp. et lib. Gauthier-Villars. (25 juin.)

FORESTIER.—Note sur le nombre des équations d'une même courbe en coordonnées polaires, par rapport au même axe; par M. Forestier. In-8°, 7 p. Toulouse, imp. Douladoure.

FOUCAULT (L.). — Recueil des travaux scientifiques de Léon Foucault, de l'Institut, publié par Mme veuve Foucault sa mère, mis en ordre par C. M. Gariel, ingénieur des ponts et chaussées, et précédé d'une notice sur les œuvres de L. Foucault, par J. Bertrand, secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences. Texte et planches. In-4°, XXVIII-596 p. et portrait, et atlas in-4° de 23 p. et 19 pl. Paris; lib. Gauthier-Villars. (3 novembre.)

FOURET (G). — Sur les surfaces de vis; par M. G. Fouret, répétiteur à l'École polytechnique. In-8°, 7 p. Paris, imp. Chaix et C°; 76, rue de Rennes. (29 mai.)

GARNIER (Joseph). — Traité complet d'arithmétique, théorique et

appliquée au commerce, à la banque, aux finances, à l'industrie avec un traité des poids et mesures, un recueil de problèmes raisonnés et diverses notes et notices; par Joseph Garnier, professeur à l'École supérieure du commerce et à l'École des ponts et chaussées, président du Congrès international des poids et mesures, membre de l'Institut, 3ᵉ *édition*, revue et augmentée, avec fig., 1 vol. in-8°, 8 fr.

GASCHEAU. — Étude sur un cas singulier de mouvement dû à une force centrale; par M. Gascheau, professeur honoraire de la Faculté des sciences de Toulouse. In-8°, 16 p. Toulouse, impr. Douladoure.

GILBERT.—Sur la réduction des forces centrifuges composées dans le mouvement relatif d'un corps solide; par M. Ph. Gilbert, professeur à l'Université de Louvain. In-8°, 5 p. Paris, imprim. Chaix et Cᵉ. (7 août.)

LAISANT (A.). — Sur la cinématique du plan (extrait); par M. A. Laisant, docteur ès ciences, député de la Loire-Inférieure. In-8°, 9 p. Paris, imp. Chaix et Cᵉ; 76, rue de Rennes. (29 mai.)

LAURENT (H.). — Traité de mécanique rationnelle, à l'usage des candidats à la licence et à l'agrégation; par H. Laurent, répétiteur d'analyse à l'École polytechnique. 2ᵉ *édition*. 2 vol. In-8°, XXII-725 p. Paris, imp. et lib. Gauthier-Villars. (1878.) 12 fr. (6 novembre.)

MAXIMOVITCH (W.). — Nouvelle méthode pour intégrer les équations simultanées aux différentielles totales; par M. Maximovitch, docteur ès sciences mathématiques. In-8°, 33 p. Paris, lib. Gauthier-Villars. (23 juillet.)

MOLINS (H.). — Mémoire sur un système triple de surfaces orthogonales développables; par M. H. Molins. In-8°, 20 p. Toulouse, imp. Douladoure.

PENET (L.). — Sur les surfaces et les lignes topographiques; par M. Léon Penet, ancien élève de l'École polytechnique. In-8°, 86 p. et pl. Grenoble, imp. Maisonville et fils.

PICQUET. — Mémoire sur les courbes et surfaces anallagmatiques; conséquences relatives à quelques courbes et surfaces du 4ᵉ degré; par M. Picquet, capitaine du génie, répétiteur à l'École potytechnique. In-8°, 39 p. Paris, imp. Chaix et Cᵉ; 76, rue de Rennes. (13 mai.)

PUISEUX (P.) — Sur l'accélération séculaire du mouvement de la lune; par M. P. Puiseux, agrégé-préparateur à l'École normale supérieure, docteur ès sciences mathématiques. In-4°, 89 p. Paris, imp. et lib. Gauthier-Villars. (23 juillet.)

SERVEAU (G.). — Le Mouvement, en géométrie, et le Postulatum d'Euclide; par Gustave Serveau. In-8°, 40 p. Angers, imp. Lachèse et Dolbeau.

SIRE (G.).—Sur trois cas particuliers de la rotation d'un ellipsoïde. Résumé d'une conférence faite en séance publique de la Société d'émulation du Doubs, le 13 décembre 1877; par Georges Sire. In-8°, 3 p. Besançon, imp. Dodivers.

SONNET (H.). — Dictionnaire des mathématiques appliquées; par H. Sonnet, professeur. 3° *édition*. In-8° à 2 col., 1478 p. avec 1900 fig. Paris, lib. Hachette et C°. 30 fr. (6 novembre.)

—— Premiers éléments du calcul infinitésimal, à l'usage des jeunes gens qui se destinent à la carrière d'ingénieur; par H. Sonnet. 2° *édition*. In-8°, III-359 p. Paris. lib. Hachette et C°. 6 francs. (22 septembre.)

2° — Mécanique. — Construction.

BARBIÉ DU BOCAGE. — Sur l'épuisement des bois d'œuvre dans la zone tempérée du Nord; par M. Barbié du Bocage. In-8°, 15 p. Paris, imp. Tremblay. (14 mai.)

BREUILLÉ (P.). — Nouveau barême de comptes faits pour la paye des ouvriers et les frais de transport par chevaux soit à l'heure, *soit à la journée*, suivie d'une encyclopédie, de tables de ma*thématiques*, de comptes d'intérêts composés, etc.; par Ph. Breuillé, entrepreneur de travaux publics, à Marseille. Grand in-8°, 356 p. avec tableaux. Marseille, imprimerie Doucet.

CANET (G.). — Théorie des freins hydrauliques. Description des freins des systèmes Krupp, Rendel et Vavasseur; par G. Canet, ingénieur. In-8°, 35 p. avec fig. et planc. Nancy, imp. Berger-Levrault et C°. 1f,50.

COSTE (H.) et L. MANIQUET.— Tracés pratiques et exacts des épures de distribution de vapeur; Méthodes permettant de construire rapidement à des échelles très grandes des épures rigoureusement exactes; par MM. H. Coste et L. Maniquet, ingénieurs des arts et manufactures. In-8°, 120 p. avec 35 fig. et 11 pl. Paris, lib. Baudry.

DUBUISSON (J.). — Regains scientifiques; par J. Dubuisson, ancien élève de l'École centrale. Fascicule n° 7. De la forme des terrassements. In-8°, 151 p. avec fig., lib. Bernard. 3 fr.

DULOS (P.). — Cours de mécanique à l'usage des écoles d'arts et métiers et de l'enseignement spécial des lycées; par M. Pascal Dulos, professeur de mécanique. Quatrième partie. In 8°, XI-570

pages. Paris, imp. et lib. Gauthier-Villars. 9f,50. (11 novembre.)

Endrès (E.). — Manuel du conducteur des ponts et chaussées, d'après le dernier programme officiel des examens. Ouvrage indispensable aux conducteurs et employés secondaires des ponts et chaussées et des compagnies de chemins de fer, aux gardes-mines, aux gardes et sous-officiers de l'artillerie et du génie, aux agents voyers et à tous les candidats à ces emplois; par E. Endrès, ingénieur en chef des ponts et chaussées. 3 vol. in-8°. 27 fr.

Favaro (A.). — Leçons de statique graphique; par Antonio Favaro, professeur à l'Université de Padoue. Traduites de l'italien par Paul Terrier, ingénieur des arts et manufactures. Première partie : Géométrie de position. In-8°, xliv-288 p. Paris, lib. Gauthier-Villars. 7 fr. (6 novembre.

Francœur (L.-B.). — Traité de géodésie, comprenant la topographie, l'arpentage, le nivellement, la géomorphie terrestre et astronomique, la construction des cartes, la navigation; augmenté de notes sur la mesure des bases, par M. Hossard, et d'une note sur la méthode et les instruments d'observation employés dans les grandes opérations géodésiques ayant pour but la mesure des arcs du méridien et de parallèle terrestres; par M. Perrier, chef d'escadron d'état-major, membre du Bureau des longitudes. 6e *édition*. In-8° avec figures dans le texte et 11 pl.; 1878. 12 fr.

Gros de Perrodil. — Mécanique appliquée; résistance des voûtes et arcs métalliques employés dans la construction des ponts; par M. Gros de Perodil, ingénieur en chef des ponts et chaussées à Paris. In-8°, xvi-252 p. et 2 pl. Paris, lib. Gauthier-Villars. 7f,50. (8 novembre.)

Hallauer (O.). Moteurs à vapeur. Expériences sur le rendement des machines à vapeur, dirigées par M. G.-A. Hirn et exécutées en 1873 et 1875 par MM. Dwelshauvers-Dery, W. Grosseteste et O. Hallauer. Grand in-8°, avec 3 pl.; 1877. 2f,50.

—— Expériences sur le rendement des moteurs à vapeur, faites sur les machines Woolf verticales à balancier, sur les machines Woolf horizontales et sur les machines verticales Compound de la marine française. Grand in-8°, avec 4 pl.; 1878. 3 fr.

—— Étude expérimentale comparée sur les moteurs à un et à deux cylindres. Influence de la détente. Grand in-8°; 1879. 2f,50.

Laboulaye (C.). — Économie des machines et des manufactures, d'après l'ouvrage anglais de Ch. Babbage, membre de la Société royale de Londres; par Ch. Laboulaye, secrétaire de la Société

d'encouragement pour l'industrie nationale. In-8°, VI-466 p. Paris, libr. du Dictionnaire des arts et manufactures. (1er décembre.)

LACROIX (E.). — Carnet de l'ingénieur. Recueil de tables, de formules et de renseignements usuels et pratiques sur les sciences appliquées à l'industrie, à l'usage des ingénieurs constructeurs, publié par E. Lacroix. 35e *édition*, complètement refondue et considérablement augmentée. 4e tirage. In-18 jésus, XVIII-370 p. avec fig. Paris, imp. et lib. Lacroix. 5 fr. (15 novembre.)

LAGOUT. — Vade mecum takimétrique pour accroître le rendement du travail et moraliser les comptes; par M. Lagout, ingénieur en chef des ponts et chaussées. In-8°, 16 p. Nogent-sur-Seine, imp. Doizelet père et fils; l'auteur. 60 cent.

LALANNE (L.).— Exposé de deux méthodes pour abréger les calculs de terrassements et des mouvements de terre dans la rédaction des avant-projets et des projets de chemins de fer, de routes et de canaux; par L. Lalanne, inspecteur général des ponts et chaussées, membre de l'Institut. In-8°, IV-36 p. Paris, lib. Dunod. (27 août.)

LAMI et THAREL. — Dictionnaire encyclopédique et biographique de l'industrie et des arts industriels.

LUCHARD. — *Machines à* vapeur II. Machines fixes et demi-fixes, *moteurs* à air, moteurs à gaz, etc., à l'Exposition universelle de *1878*; rapport par M. Luchard, ingénieur civil. In-8°, VIII-116 p. avec 28 fig. et 10 pl. Paris, imp. et lib. Lacroix. 10 fr. (15 novembre.)

MASSELIN (O.). — Dictionnaire du métré: terrasse, maçonnerie, marbrerie et carrelage; par M. O. Masselin, entrepreneur des travaux de maçonnerie du palais du Trocadéro. 3e et *nouvelle édition* populaire, entièrement refondue et considérablement augmentée. In-8°, 350 p. et 10 pl. Paris, lib. Ducher. 10 fr. (30 août.)

PEIGNÉ (P.). — Formule pratique des télémètres; par P. Peigné, capitaine d'artillerie. In-8°, 22 p. avec fig. Nancy, imp. et lib. Berger-Levrault et Ce; Paris, même maison. 1 fr.

TESTUD DE BEAUREGARD (F.). — Révolution industrielle. Nouveau mode d'emploi de la vapeur; Priorité (patentes, brevets) en France, Angleterre, Belgique, Autriche, Allemagne, Espagne, Italie et Amérique; par F. Testud de Beauregard. In-12, 163 p. et 3 planches. Senlis, imp. Payen; Paris, au bureau de la publication scientifique des Lettres, causeries; tous les lib. 3 fr.

TRÉLAT (É.). — Cheminement des pressions dans les voûtes biaises;

par Émile Trélat, directeur de l'École spéciale d'architecture. In-8°, 7 p. Paris, imp. Chaix et C°; 76, rue de Rennes. (7 juillet.)

ZABÉ (J.-B.) — Traité théorique et pratique du travail du fer et de l'acier, contenant : tous les renseignements nécessaires pour le travail du fer et de l'acier. Conduites du feu, chaufferie des métaux. Soudage des aciers fondus et autres, recuit des fers et aciers après leur fini de forge. Trempe à la volée, en paquet, à à la chute d'eau; par J.-B. Zabé. 1 vol. grand in-8°, accompagné de 24 pl. lith. Paris, lib. Ambroise Lefèvre. 10 fr.

3° Navigation maritime et intérieure.

ADELINE (J.). — Les quais de Rouen autrefois et aujourd'hui; cinquante eaux-fortes, avec texte et légendes; par Jules Adeline. livraisons 5 à 20 (fin). In-folio, 78 p. avec 44 pl. et vign. Rouen, lib. Augé.

Annuaire du port de Dieppe pour l'an 1880, publié par les soins de la chambre de commerce sur les documents fournis par le service des ponts et chaussées. 2° année. In-8°, 85 p. Dieppe, imp. Delevoye, Levasseur et C°, 1 fr.

ANTOINE (C.). — Des lames de haute mer; par Ch. Antoine, ingénieur de la marine. In-8°, 56 p. Nancy, lib. Berger-Levrault et C°; Paris, même maison. 1f,50.

BEUCHOT (C.). — Étude sur la navigation intérieure; par Constant Beuchot. In-12, 115 p. Dijon, imp. Marchand; lib. Renaud. 1 fr.

BOUNICEAU-GESMON. — Projet d'un canal de jonction occidental de la Garonne à la Loire, par la Dronne, la Charente et le Clain. Nouvelles observations; par M. Bouniceau-Gesmon, président de la commission départementale de la Charente. In-8°, 23 p. Angoulême, imp. Chasseignac et C°.

CALIGNY (A. de) et L. E. BERTIN. — Sur la fondation de l'ancien port de Cherbourg (1686, 1739 à 1743, 1758). Notes et plans, publiés par M. le marquis A. de Caligny, correspondant de l'Institut, et M. L. E. Bertin, ingénieur de la marine. In-8°, 70 p. et 5 pl.; Paris, lib. Dunod.

CAMÉRÉ.— Note sur le nouveau type de barrage mobile qui va être exécuté sur la Seine à Poses; par M. Caméré, ingénieur des ponts et chaussées, à Vernon. In-8°, 7 p. avec fig. Paris, imp. Chaix et C°; 76, rue de Rennes. (29 mai.)

CHARRON. (J.-B.). — Le port de la Perrotine; un port national; par J.-B. Charron, capitaine au long-cours. In-8°, 24 p. et pl. Marennes, imp. Florentin aîné.

CIALDI (A.). — Note sur les môles à piles et arceaux dans les ports à bassin, sur l'usage qu'en ont fait les Romains, etc. ; par A. Cialdi, capitaine de vaisseau. In-8°, 16 p. Saint-Germain, imp. Bardin.

DUFRÉNÉ (H.) — La marine marchande et les ports de commerce à l'Exposition universelle de 1878. Rapport par M. Hector Dufréné, ingénieur civil. Gr. in-8°, 58 p. Paris, lib. Lacroix. 2 fr. (23 août.)

DUMONT (G.). — Hydraulique. Les distributions d'eaux et les canaux d'irrigation à l'Exposition universelle de 1878; rapport, par M. Georges Dumont, ingénieur des arts et manufactures. Grand in-8°, 126 p., 59 fig. et 12 pl. Paris, lib. Lacroix. 10 fr. (28 mai.)

FONTANE (M.). — Le canal interocéanique et le canal de Suez. Rapport présenté à la première commission du Congrès international d'étude du canal interocéanique, le 17 mai 1879 ; par M. Marius Fontane, membre du Congrès international. In-4°, 22 p. Paris, imp. Mouillot. (28 mai.)

KERVILER (R.). — Le chronomètre préhistorique de Saint-Nazaire : Réponse aux objections de MM. de Mortillet et Sirodot ; par M. René Kerviler, ingénieur des ponts et chaussées à Saint-Nazaire. In-8°, 8 p. Paris, imp. Chaix et Ce. (22 août.)

LEFÉBURE DE FOURCY. — Congrès international d'études du canal interocéanique. Exposé général de la question, présenté par M. Lefébure de Fourcy, inspecteur général des ponts et chaussées, dans la dernière séance de la commission technique. In-4°, 11 p. et carte. Paris, imp. Martinet. (27 septembre.)

LENTHÉRIC (C.). — Les Villes mortes du golfe de Lyon : Illiberris, Ruscino, Narbon, Agde, Maguelone, Aigues-Mortes, Arles, les Saintes-Maries ; par Charles Lenthéric, ingénieur des ponts et chaussées. 3e *édition*. In-18 jésus, 528 p. et 15 cartes et plans. Paris, lib. Plon et Ce. 5 fr. (24 mai.)

—— La Provence maritime, ancienne et moderne ; par M. Charles Lenthéric, ingénieur des ponts et chaussées. Petit in-8°, 544 p. et 9 cartes et plans. Paris, lib. Plon et Ce. 5 fr. (21 octobre.)

Navigation intérieure de la France ; notice sur les voies navigables du Nord et du Pas-de-Calais. In-4°, IX-133 p. et carte coloriée. Lille, imp. Danel.

Phares de la mer Méditerranée, de la mer Noire et de la mer d'Azof (Espagne, France, Italie, Autriche, Grèce, Turquie, Russie et côte nord d'Afrique). In-8°, 129 p. Paris, lib. Challamel aîné. 1 fr. (2 septembre.)

Ports maritimes de France. T. 4. D'Ouessant au Pouliguen. (Ministère des travaux publics.) In-4°, 649 p. et cartes. Paris, impr. nationale. (6 octobre.)

Reclus (A.). — Le canal interocéanique et les explorations dans l'isthme américain. Conférence faite à la Société de géographie commerciale; par A. Reclus, lieutenant de vaisseau. In-8°, 31 p. Nancy, imp. et lib. Berger-Levrault et Ce; Paris, même maison. 1 fr.

Reynaud (L.). —Les travaux publics de la France. Routes et ponts, chemins de fer, rivières et canaux, ports de mer, phares et balises; par MM. les ingénieurs des ponts et chaussées Félix Lucas, Ed. Collignon, H. de Lagrené, Voisin-Bey, E. Allard. Ouvrage publié sous les auspices du ministère des travaux publics, et sous la direction de M. Léonce Reynaud, inspecteur général des ponts et chaussées; contenant 250 planches, de nombreuses gravures dans le texte et 5 cartes en chromolithographie. Livraisons 31 à 45, formant les livraisons 7, 8 et 9 de chaque partie. In-folio, 180 p. et 75 pl. Paris, imp. Quantin; lib. J. Rothschild. 180 fr. La livraison, 12 fr. (27 mai.)

Ricci. — Derniers travaux géodésiques exécutés en Italie et établissement de maréographes; par M. le général Ricci. In-8°, 7 p. Paris, imp. Chaix et Ce. (22 août.)

Selfridge (T. O.).— Une discussion de la route Napipi-Atrato pour un canal sans écluse; par Thomas O. Selfridge, capitaine de frégate de la marine des États-Unis. In-8°, 6 p. Paris, imprim. Mouillot. (28 mai.)

Stœcklin. — Création d'un port en eau profonde à Boulogne; par M. Stœcklin, ingénieur en chef des ponts et chaussées, à Boulogne-sur-Mer. In-8°, 4. p. Paris, imp. Chaix et Ce; 76, rue de Rennes. (29 mai.)

Trémaux (J. M.). — Alimentation des villes et des villages par les procédés hydrologiques de J. M. Trémaux, conducteur principal des ponts et chaussées, en retraite, à Alger. In-8°, 56 p. et 2 pl. Alger, imp. Jourdan.

Vérard de Sainte-Anne. — Sur le passage à ciel ouvert au détroit de la Manche; communication à l'Académie des sciences; par M. Vérard de Sainte-Anne. In-4°, 2 p. et plan. Paris, imp. Chamerot. (27 août.)

Voisin-Bey. — Rapport de la commission technique lu au congrès international d'études du canal interocéanique dans sa séance générale de clôture du 29 mai 1879; par M. Voisin-Bey, rapporteur. In-4°, 69 p. et 2 cartes. Paris, imp. Martinet. (2 septembre.)

4° Chemins de fer.

Bresson (A.). — Les Narrow-Ganges ; étude pratique des voies étroites américaines, leur application aux « voies ferrées sur routes », etc. ; par M. André Bresson, ingénieur civil. In-8°, 32 p. avec 2 fig. et pl. Paris, lib. Lacroix. 2 fr. (2 août.)

Chabrier (E.). — Les chemins de fer d'intérêt local sur les routes ; par M. Ernest Chabrier, ingénieur, 1872-1878. In-8° lxxxxvi-44 p. Nancy, lib. Berger-Levrault et Cᵉ ; Paris, même maison.

Chemins (les) de fer allemands et les chemins de fer français au point de vue de la concentration des armées. In-8°, 40 p. et 2 cartes. Paris, lib. Dumaine. 1ᶠ,50 (11 août.)

Cosmans, Guillemant, Moreau et Sartiaux. — Chemins de fer, Études sur l'exploitation proprement dite des chemins de fer, la voie, le matériel fixe et roulant, etc., à l'Exposition universelle de 1878. Rapport par MM. Cosmann, Guillemant, Moreau et Sartiaux, ingénieurs. In-8°, ix-307 p. avec 58 fig. et 33 pl. Paris. lib. Lacroix. 20 fr. (23 août.)

Entz (H.). — Les chemins de fer et les transports militaires ; wagon Entz : Première partie ; par Henri Entz, ancien officier de cavalerie. In-8°, 100 p. Saint-Amand, imp. Destenay.

Évrard (A.). — Note sur la résistance des trains à la traction sur les petits chemins de service en usage dans les mines ; par M. Alfred Évrard, ingénieur, directeur de la compagnie houillère de Ferfay. In-8°, 23 p. Paris, imp. Capiomont et Renault. (8 octobre.)

Faliès (A.). — Le nouveau projet de loi des chemins de fer d'intérêt local ; Étude technique et financière ; par Alfred Faliès, directeur de la compagnie du chemin de fer d'intérêt local de Mamers à Saint-Calais. Première partie. In-8°, 48 p. Paris, lib. Lemoine.

Gaudry et Luchard. — Machines à vapeur : locomotives et machines pour tramways à l'Exposition universelle de 1878. Rapport ; par MM. Gaudry et Luchard, ingénieurs civils. Gr. in-8°, viii-206 p. Paris, lib. Lacroix. 10 fr. (2 août.)

Guillemin (A.). — Les chemins de fer ; par Amédée Guillemin, 6ᵉ *édition*. In-18 jésus, 376 p. avec 13 vign. Paris, lib. Hachette et Cᵉ. 2ᶠ,25. (25 octobre.)

Kramer. — Du Trans-saharien par la vallée de l'Oued Messaoud ; par Kramer, président du comité du trans-saharien de la Société de géographie d'Oran. In-8°, 16 p. Oran, imp. Heintz, Artus et Cᵉ.

Leroy (A.). — Traité pratique des machines locomotives, à l'usage

des mécaniciens, des chauffeurs et autres agents spéciaux des ateliers et dépôts des chemins de fer; par A. Leroy, chef de bureau de la traction des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée. In-8°, x-546 p. et atlas gr. in-4° de 9 pl. Dijon, lib. Ropiteau.

LESSAR (P.). — De la construction des chemins de fer en temps de guerre; lignes construites par l'armée russe pendant la campagne 1877-1878; par M. P. Lessar, ingénieur du gouvernement russe. Traduit du russe par M. L. Avril, ingénieur civil. In-8°, 142 p. et 10 pl. Paris, lib. Lacroix. 6f,50. (11 septembre.)

PARISOT (V.).—Le chemin de fer trans-saharien; par M. V. Parisot, capitaine d'état-major. In-8°, 28 p. Nancy, imp. et lib. Berger-Levrault et Cᵉ; Paris, même maison.

PICHON (L.).— Les chemins de fer et l'article 105 du code de commerce; par M. Lucien Pichon. In-16, 23 p. Bayonne, impr. Lespès sœurs.

REGNAULT.— Indicateur électrique destiné à compléter la sécurité des trains sur les chemins de fer; par M. Regnault, conseil de l'agence de la banlieue des chemins de fer de l'Ouest. In-8°, 14 p. avec fig. Paris, imp. Motteroz. (7 juillet.)

WORMS DE ROMILLY. —Note sur les perturbations dans les locomotives; par M. Worms de Romilly, ingénieur des mines. In-8°, 16 p. Paris, imp. Arnous de Rivière. (21 octobre.)

5° Législation — Administration. — Économie politique.

ACLOCQUE (P). — Conférence sur la situation économique de la France, les traités de commerce et les tarifs de douane; par M. P. Aclocque, ancien député. In-8°, 79 p. Foix, imp. Pomiès.

AUCOC (L.). — Rapport sur le concours relatif à la séparation des pouvoirs; par M. Léon Aucoc, président de section au Conseil d'État. In-8°, 30 p. Orléans, imp. Colas.

BARRY (C.). — Commentaire des clauses et conditions générales imposées aux entrepreneurs des travaux du service du génie (cahier du 25 novembre 1876) suivi du devis général des travaux du génie, etc.; par Charles Barry, docteur en droit. In-18, LXXX-422 p. Paris, lib. Dumaine; Marchal, Billard et Cᵉ. 6 fr. (6 août.)

BASTIAT (F.). — Œuvres complètes de Frédéric Bastiat, mises en ordre, revues et annotées d'après les manuscrits de l'auteur. 3ᵉ *édition*. T. 2. Le libre échange. In-18 jésus, 491 p. Paris, lib. Guillaumin et Cᵉ. 3f,50.

Bastiat (F.). — Œuvres complètes de Frédéric Bastiat, mises e ordre, revues et annotées d'après les manuscrits de l'auteur. T. 6. Harmonies économiques. 7e *édition*. In-18 jésus, 664 p. Paris, lib. Guillaumin et Ce. 3f,50.

Beauvisage (E.). — Guide du déposant à la caisse des retraites pour la vieillesse, suivi des tarifs à 5 p. 100 et de calculs détaillés pour tous les âges; par E. Beauvisage, chef chargé de la division des retraites à la Caisse des dépôts et consignations. Modifié conformément à la loi du 20 décembre 1872 par son fils, G. Beauvisage, employé à la Caisse des dépôts et consignations. 21e *édition*. In-4°, 32 p. Paris, imp. P. Dupont. 50 c. (9 juillet.)

Block (M.).— Supplément annuel au Dictionnaire de l'administration française; par M. Maurice Block, avec la collaboration de membres du Conseil d'État, de la cour des comptes, etc. 11 novembre 1879. In-8° à 2 col., p. 81 à 171. Nancy, imp. et libr. Berger-Levrault et Ce; Paris, même maison.

Boinvilliers (É.). — Les chemins de fer désastreux; par Édouard Boinvilliers. In-16, 31 p. Paris, imprim. Dubuisson et Ce. 1 fr. (14 août.)

Boulan (A.). — Les chemins de fer d'intérêt local; par A. Boulan, chef de bureau au ministère de l'intérieur. In-8°, 41 p. Nancy, imp. et lib. Berger-Levrault et Ce; Paris, même maison.

Cavaignac (G.). — Note sur les rapports de l'État avec les compagnies de chemin de fer en Angleterre; par M. G. Cavaignac, ingénieur des ponts et chaussées. In-8°, 24 p. Paris, lib. Dunod. (1er octobre.)

Debauve (A.). — Dictionnaire administratif des travaux publics; par A. Debauve, ingénieur des ponts et chaussées. In-8° à 2 col., p. 1 à 480. Paris, imp. Pillet et Dumoulin; lib. Dunod. (22 juillet.)

Engelhardt (E.). — Du régime conventionnel des fleuves internationaux; études et projet de règlement général, précédés d'une introduction historique, par Ed. Engelhardt, ministre plénipotentiaire. In-8°, VIII-270 p. Paris. lib. Cotillon et Ce. 5 fr. (8 octobre.)

Guillaume (E.). — Les chemins ruraux; — par Eugène Guillaume, chef de bureau au ministère de l'intérieur. In-8°, 27 p. Nancy, imp. et lib. Berger-Levrault et Ce; Paris, même maison.

Grivel (F.). — Étude sur la pêche à la ligne; par Félicien Grivel, docteur en droit, substitut du procureur de la République à Verdun. Un vol. In-8°. 2 fr.

Le Play (F.). — Les ouvriers européens: épilogue général; par

F. Le Play. But, plan et premier spécimen d'une collection intitulée : La question sociale au XIXe siècle, d'après les enseignements de l'histoire universelle et l'observation des peuples contemporains, par une Société d'auteurs indépendants les uns des autres, etc. In-18, 64 p. Paris, lib. Dentu. 30 cent.

LE PLAY (F.).— Les ouvriers européens. 2e *édition*. T. 1. La méthode d'observation appliquée, de 1829 à 1879, à l'étude des familles ouvrières, en trois livres ou précis sommaires touchant les origines, la description et l'histoire de la méthode, avec une carte géographique des 57 familles décrites; par F. Le Play, ancien conseiller d'État. Grand in-8°, XIV-648 p. et portrait. Paris, libr. Dentu.

LEROY-BEAULIEU (P.).— Traité de la science des finances; par Paul Leroy-Beaulieu, de l'Institut, directeur de l'Économiste français, 2e *édition*, revue, corrigée et augmentée. T. 1. Des revenus publics. T. 2. Le Budget et le Crédit public. 2 vol. in-8°, VIII-1478 p. Paris, lib. Guillaumin et Ce. 24 fr.

—— Rachat des chemins de fer par l'État; l'attitude des libéraux français et celle des libéraux allemands; par Paul Leroy-Beaulieu. In-4° à 2 col., 9 p. Paris, imp. Chaix et Ce. (25 août.)

MAHAUT (A.). — Des transports. Tarifs différentiels, tarifs proportionnels, droits de navigation, etc.; par Auguste Mahaut. In-8°, 29 p. Roanne, imp. Ferlay.

MARTIN (E.). — Code nouveau de la pêche fluviale, annoté et expliqué d'après la jurisprudence de la cour de cassation et des cours d'appel, à l'usage des gendarmes et des agents chargés de la surveillance de la pêche : par E. Martin, docteur en droit. 5e *édition*, revue et augmentée. In-18, 288 pages. Paris, lib. Léautey. 2 fr. (7 octobre.)

MAYET (C.).— La machine industrielle et son rôle dans l'économie sociale; par Ch. Mayet. In-12, 20 p. Reims, imp. Justinart.

NADAULT DE BUFFON. — Du concours de l'État dans les entreprises d'intérêt agricole pouvant être déclarées d'utilité publique, telles que les irrigations, colmatages, limonages, submersions, etc. ; Étude administrative et financière des résultats obtenus et restant à obtenir, présentant l'ensemble des documents à consulter pour l'étude et les applications du nouveau régime légal en voie de préparation sur cette matière; par Nadault de Buffon, ingénieur en chef. In-8°, VIII-480 p. Paris, lib. Marescq aîné. 8 fr. (18 août.)

PASSY (F.). — La liberté du travail et les traités de commerce. Étude faite à l'assemblée générale de la Société protestante du

travail; par M. Frédéric Passy, membre de l'Institut. In-8°, 68 p. Paris, imp. veuve Éthiou-Pérou et Klein. (16 août.)

Plocque (A.). — Des cours d'eau navigables et flottables; par Alfred Plocque, docteur en droit, juge suppléant au tribunal de la Seine. Troisième partie. In-8°, 684 p. Paris, lib. Pedone-Lauriel.

Porteu de la Morandière (F.). — Des chemins de fer en France, de l'administration des grandes compagnies et de leurs rapports avec les actionnaires; par F. Porteu de La Morandière. In-12, 20 p. Rennes, imp. Vatar.

Thurel (A.). — Recueil alphabétique de législation et de jurisprudence concernant les affaires qui se présentent le plus souvent dans le service des ponts et chaussées; dressé par Auguste Thurel, conducteur des ponts et chaussées à Orgelet (Jura). In-8°, 480 p. Lons-le-Saulnier, imp. Damelet. 9 fr.

Wiener (C.). — La main-d'œuvre dans l'Amérique méridionale: communication adressée à la Société de géographie dans la séance du 2 mai 1879: par Ch. Wiener. In-8°, 15 p. Versailles, imp. et lib. Cerf et fils.

6° Physique. — Météorologie. — Géologie. — Minéralogie.

Berthelin (G.). — Liste des foraminifères recueillis dans la baie de Bourgneuf et à Pornichet, suivie de la traduction des renseignements sur la manière de récolter les microzoaires marins, publiés par M. David Robertson, F. G. S., dans les Transactions of the Geological society of Glasgow; par M. G. Berthelin, membre de la Société géologique de France. In-8°, 55 p. Nantes, imp. veuve Mellinet.

Bouvier, Giraud et Pamard. — Le mont Ventoux, notice; par MM. Bouvier, ingénieur en chef des ponts et chaussées, Giraud, directeur de l'École normale d'Avignon, et Pamard, docteur en médecine, membres de la commission météorologique du département de Vaucluse. In-4°, 51 p. et 10 pl. Avignon, lib. Seguin frères.

Chancourtois (B. de). — Sur les alignements géologiques; par M. B. de Chancourtois, ingénieur en chef, professeur de géologie à l'École des mines. In-8°, 4 p. Paris, imp. Chaix et C°; 76, rue de Rennes. (25 août.)

Fontaine (H.). — Éclairage à l'électricité. Renseignements pratiques; par Hippolyte Fontaine. 2° *édition*. In-8°, xvi-304 p. avec 81 vign. Paris, lib. Baudry. (4 juin.)

Falsan (A.) et E. Chantre. — Monographie géologique des anciens

glaciers et du terrain erratique de la partie moyenne du bassin du Rhône; par A. Falsan et E. Chantre. T. 1. Gr. in-8°, XXVII-623 p. et vign. Lyon, imp. Pitrat aîné.

GIFFARD (P.). — La lumière électrique expliquée à tout le monde; par Pierre Giffard. 2e et 3e *éditions*, revues et augmentées. In-32, 168 p. avec vign. Paris, lib. Dreyfous.

GUILLIER (A.) — Note sur l'allure des eaux souterraines; par M. A. Guillier, de la Société d'agriculture, sciences et arts de la Sarthe. In-8°, 7 p. Le Mans, imp. Monnayer.

HERMARY. — Sur le baromètre absolu de MM. Hans et Hermary; par M. Hermary, capitaine d'artillerie. In-8°, 9 p. avec fig. Paris, imp. Chaix et Ce; 76, rue de Rennes. (16 juillet.)

LAUR (F.). — Prolongement du bassin houiller de la Loire sous les plaines du Dauphiné, du Forez et de Roanne. I. Sondage de la plaine du Forez, carte géologique et coupes; par M. Francis Laur, ingénieur civil. In-8°, 47 p. Saint-Étienne, imp. Théolier frères. 1f,50.

LEYMERIE (A.). — Éléments de minéralogie et de lithologie. Ouvrage complémentaire des éléments de géologie; par A. Leymerie, professeur à la faculté des sciences de Toulouse. 4e *édition*. In-12, X-279 p. avec vig. Paris, lib. G. Masson; J.-B. Baillière et fils.

LOOMIS (E.). — Mémoires de météorologie dynamique, exposé des résultats de la discussion des cartes du temps des États-Unis, ainsi que d'autres documents; par M. Élias Loomis, professeur de philosophie naturelle aux États-Unis. Traduit de l'anglais, par M. H. Brocard, capitaine du génie. In-8°, XVI-214 p. avec fig., tableaux et 13 cartes. Paris, au bureau du journal *Les Mondes*; lib. Gauthier-Villars.

DU MONCEL (T.). — L'éclairage électrique; par le comte Th. Du Moncel, de l'Institut. In-18 jésus, 368 p. avec 70 fig. Paris, lib. Hachette et Ce. 2f,25. (20 novembre.)

QUÈS. — Leçons de physique professées au collège de Perpignan; par M. Quès. Théorie mécanique de la chaleur ou thermodynamique. In-8°, 48 p. Perpignan, imp. de l'Indépendant.

Substances explosives: Coton-poudre et dynamite. In-8°, 20 p. Paris, lib. Dumaine, 75 cent. (16 juin.)

VIGUIER. — Indication d'une étude critique de la Grêle; par M. Viguier, professeur à la Faculté des sciences de Montpellier. In-8°, 6 p. Paris, imp. Chaix et Ce. (2 juillet.)

VIRY (Ch.). — Thermodynamique pure contenant les notions exigées pour l'agrégation de l'enseignement spécial, le principe de

l'équivalence, et son application à la théorie de l'écoulement des gaz, le principe de Carnot, et son application à l'étude comparative sommaire au point de vue économique des diverses machines thermiques; par M. Ch. Viry, ingénieur des arts et manufactures, ancien élève et ancien répétiteur de mécanique à l'École centrale, agrégé de l'Université. Professeur de mécanique à l'École normale spéciale de Cluny.

West (W.) — Propriétés mécaniques des gaz. Notice pour servir d'introduction à l'étude de la thermodynamique; par Walter West. Traduit de l'anglais par Jules Séraphin. In-8°, 51 p. avec fig. Saint-Germain, imp. Bardin.

Zeiller (R.). — Explication de la carte géologique de la France; par R. Zeiller, ingénieur. T. 4. Deuxième partie. Végétaux fossiles du terrain houiller. In-4°, 189 p. Paris, imp. nationale. (5 juillet).

7° Agriculture. — Irrigations. — Sujets divers.

Bosc (E.). — Dictionnaire raisonné d'architecture et des sciences et arts qui s'y rattachent; par Ernest Bosc, architecte. In-8° à 2 col., p. 1 à 576, avec pl. et grav. Mesnil; Paris, lib. Firmin Didot et Ce. La livraison, 6 fr.

Bourdais (J.) et E. Mouchelet. — Visites des ingénieurs anciens élèves de l'École centrale des arts et manufactures à l'Exposition universelle de 1878. Visite au palais du Trocadéro; par J. Bourdais, ingénieur, architecte du Trocadéro, et E. Mouchelet, ingénieur civil. In-8°, 22 p. Saint-Germain; Paris, 18, rue La Fayette.

Bout (H.). — Notice historique sur la pisciculture; par H. Bout. In-8°, 35 p. Nancy, imp. et lib. Berger-Levrault et Ce; Paris, même maison. 1 fr. 25 cent.

Carlet (J.). — De l'origine de l'ogive et du style architectural des églises bourguignonnes du moyen âge classées parmi les monuments historiques; par M. Joseph Carlet. In-8°, 39 p. Beaune, lib. Batault-Morot.

Comberousse (C. de). — Histoire de l'École centrale des arts et manufactures depuis sa fondation jusqu'à nos jours; par Ch. de Comberousse, professeur de mécanique à l'École centrale. In-8°, XIV-479 p. et 4 pl. Paris, lib. Gauthier-Villars. 12 fr. (21 octobre).

État du corps du génie, suivi des principales dispositions, des lois, décrets, ordonnances, etc., concernant les officiers et les adjoints du génie (1879). In-8°, 264 p. Paris, lib. Dumaine. 4 fr. (28 juillet).

Figuier (L.). — Les Grandes inventions modernes dans les sciences, l'industrie et les arts; par Louis Figuier. 6e *édition*. In-12, III-366 p. avec vign. Paris, lib. Hachette et Ce. 1 fr. 50. (16 juin).

Flachat (I.). — Visites des ingénieurs anciens élèves de l'École centrale des arts et manufactures à l'Exposition universelle de 1878. Société anonyme de Commentry-Fourchambault; par M. Ivan Flachat. In-8°, 19 p. Paris, 18, rue La Fayette.

Gobin (A.). — La Pisciculture d'eau douce et salée à l'Exposition universelle de 1878; par M. A. Gobin, ancien professeur de zootechnie aux écoles nationales de Grignon et de Montpellier. In-8°, VI-80 p. avec 34 fig. Paris, imp. et lib. Lacroix. 3 fr. (18 décembre).

Grandeau (L.). — Cours d'agriculture de l'École forestière. Chimie et physiologie appliquées à l'agriculture et à la sylviculture; par L. Grandeau, professeur d'agriculture. I. La Nutrition de la plante; l'Atmosphère et la Plante. Gr. in-8, XVI-624 p. Nancy, lib. Berger-Levrault et Ce; Paris, lib. agricole de la Maison rustique.

Loua (T.). — Notes statistiques sur les irrigations en France et à l'étranger; par Toussaint Loua, secrétaire général de la Société de statistique. In-4°, 23 p. Nancy, imp. Berger-Levrault et Ce.

Merveilles (les) de l'Exposition de 1878; histoire, construction, inauguration, description détaillée des plans, des annexes et des parcs, les chefs-d'œuvre de tous les pays, les expositions spéciales, etc. Ouvrage rédigé par des écrivains spéciaux et des ingénieurs, illustré par MM. Deroy, Férat, Fichot, Lançon, Lix, Morin, Pauquet, Vierge, etc., de vues d'ensemble et de détail, de scènes, de reproductions d'objets exposés, etc. In-4° à 2 col., 800 p. Paris, Librairie illustrée; Dreyfous; tous les libraires.

Moulle (A.). — Rapport à l'appui du projet de desséchement et de la mise en culture du lac Copaïs (Grèce); par A. Moulle, ingénieur civil des mines. In-8°, 107 p. Paris, imp. Lahure. (27 mai).

Muller (E.) et E. Cacheux. — Les Habitations ouvrières en tous pays; situation en 1878; avenir; par Émile Muller, ingénieur, et Émile Cacheux, ingénieur. In-8°, VIII-415 p. Paris, lib. Dejey et Ce. Se vend avec un atlas, 60 francs. (4 juin).

Pifre (A.). — Visites des ingénieurs anciens élèves de l'École centrale des arts et manufactures à l'Exposition universelle de 1878. Les Récepteurs solaires; Exposition des appareils de M. Mouchot; par M. Abel Pifre, ingénieur. In-8°, 16 p. Paris, 18, rue Lafayette.

N° 10

PRIX WATIER.

M. l'Inspecteur général Watier a légué en mourant sa bibliothèque à *l'École des ponts et chaussées*, pour être distribuée en prix aux Élèves.

M. le Ministre des travaux publics, sur la proposition du Conseil de l'École a décidé : 1° que ce prix portera le nom de *prix Watier*, en mémoire du généreux donateur ; 2° qu'il sera divisé en deux parties principales : la première comprenant la collection complète des *Annales des ponts et chaussées*, doit être donnée au plus méritant des élèves présents à l'École au mois de décembre 1879 ; la seconde, composée de divers ouvrages spéciaux, sera subdivisée en plusieurs lots, destinés à récompenser les élèves les plus distingués dans chaque faculté spéciale.

N° 11

NOTE

SUR

LE PROFIT DES TRAVAUX

Par M. DE LABRY, Ingénieur en chef des ponts et chaussées.

Les *Annales des ponts et chaussées* du mois de juin 1879 contiennent un très intéressant mémoire de M. l'ingénieur en chef Léchalas sur les rectifications de routes. Un des objets de ce mémoire est la détermination des cas dans lesquels l'État trouvera bénéfice à entreprendre de tels ouvrages. Les vues de l'auteur à cet égard seront indiquées par la citation des passages suivants (*) :

« Une rectification sur place elle-même ne serait pas « utile dans le vrai sens du mot, si le profit annuel du « commerce n'était pas supérieur à l'intérêt du montant « des travaux ; il faut même un profit très supérieur pour « que le travail soit à faire, car il ne manque pas de dé- « penses d'intérêt public pour lesquelles on est assuré « d'obtenir de gros rendements.....

« On chiffrera l'économie (résultant pour le commerce « de la rectification) et on comparera avec l'intérêt de la « dépense. Il n'y a pas à formuler de conclusion générale ; « mais on arrivera dans chaque cas particulier à savoir s'il « y aurait un avantage réel à exécuter la rectification et « quelle en serait l'importance.

(*) *Annales des ponts et chaussées* de juin 1879, pages 393, 407 et 410.

« Les rectifications sur place sont toujours utiles au « commerce, mais il ne faut les entreprendre que si l'in- « térêt de la dépense est dépassé de beaucoup par le profit « du public. »

Le principe exprimé en ces termes est exact. Mais en se bornant à dire que le profit du commerce doit « *être très supérieur* » à l'intérêt du montant des travaux et que l'intérêt de la dépense doit « *être dépassé de beaucoup* » par le profit du public, on laisse un certain vague dans l'esprit du lecteur. Serait-il possible de serrer la question d'un peu plus près? d'établir, par exemple, entre l'intérêt du capital dépensé par l'État et le profit annuel futur du commerce, des rapports numériques généraux dont l'ingénieur se servirait ensuite comme de jalons dans l'étude des résultats probables de l'opération projetée?

La question ainsi posée pour les rectifications de routes serait de nature à être généralisée et à recevoir l'énoncé suivant : « à quelles conditions les travaux de construction « sont-ils rémunérateurs? » Nous allons essayer d'ajouter sur ce sujet quelques indications à celles qu'a données M. Léchalas.

Les travaux de construction, notamment les voies de circulation, sont profitables à ceux qui en usent, à moins d'être déraisonnablement conçus, ce qui heureusement est une rare exception. Demander : « à quelles conditions ces travaux sont-ils rémunérateurs ? » c'est demander à quelles conditions celui qui en paye l'établissement en retirera un bénéfice, ou du moins ne sera pas en perte. Il serait utile de donner une réponse exacte et claire à cette question; car, dire si les travaux seront rémunérateurs et pour quelle personne privée ou collective ils pourront l'être, ce serait, jusqu'à un certain point, faire savoir s'ils doivent être entrepris et par qui.

Sur ce point, notamment pour les constructions qu'entreprend l'État, des opinions très divergentes ont été expri-

mées par des hommes politiques et par des administrateurs.

Si de ceux-ci nous passons aux praticiens, voici en abrégé la méthode qu'emploient habituellement les ingénieurs pour évaluer l'utilité d'une voie future. A l'aide de tous les documents écrits ou imprimés et des renseignements verbaux que l'on peut se procurer, on cherche à déterminer combien d'individus et de marchandises ont dans chacune des années précédentes parcouru les distances entre les deux extrémités et entre des points intermédiaires de la ligne projetée, et combien ont coûté ces trajets. Sur la voie future ils devront moins coûter; on évalue la différence. En outre, sur cette voie, la circulation devenue moins chère et plus commode devra augmenter dans un certain rapport. On multiplie cette différence par ce rapport, et l'on considère le produit comme une mesure numérique de l'utilité directe qu'aura pour le public le travail projeté.

De plus, la voie nouvelle ou améliorée facilitera la consommation et la production; par là, elle éveillera des besoins nouveaux et fera naître des sources de richesses; cet élan imprimé à l'activité sociale formera l'utilité indirecte du projet. De celle-ci, on peut essayer de se rendre un compte préalable en étudiant les effets précédemment causés par des travaux analogues dans des contrées comparables, par leur nature et leur civilisation, à celle que l'on considère. L'ensemble de ces deux utilités, directe et indirecte, sera l'utilité générale de l'œuvre pour le public (*).

Mais comment reconnaître si le travail procurera une rémunération à qui en aura payé l'établissement? Deux

(*) Nous nous bornons à ces indications sommaires sur la méthode en usage, parce qu'elles suffisent pour notre exposé; mais le lecteur pourra trouver sur ce point des considérations très intéressantes dans deux mémoires de M. Dupuit, publiés dans les *Annales des ponts et chaussées* en 1844, 2e semestre, et en 1849, 1er semestre, l'un sur la mesure de l'utilité des travaux publics et l'autre sur les péages et leur influence.

auteurs justement estimés, l'ingénieur Favier et l'économiste Jean-Baptiste Say, ont, en ce qui concerne l'État, présenté sur cette question des réponses concordantes; suivant eux, si un travail doit apporter au public qui en usera une utilité générale de valeur égale à l'intérêt courant sur son capital d'établissement, l'État, en l'exécutant, fait, au point de vue financier, une affaire profitable pour lui-même (*). On peut adresser à cette opinion la critique suivante : en répondant ainsi, ces deux savants ont confondu la bourse du public et celle de l'État; or, l'une et l'autre sont très distinctes et très inégales. L'impôt payé par les citoyens sort de la première pour entrer dans la seconde, les appointements et les rentes sortent de la seconde pour entrer dans la première. Annuellement, en France, l'ensemble de la production du pays, que l'on peut considérer comme valeur approximative du revenu total du public, est d'environ 28 millards; la recette du budget, qui est le revenu de l'État, est d'environ 2.800.000.000 de francs (**). Si, par impossible, l'État affectait par an ces 2.800.000.000 de francs à réduire d'autant les frais de l'industrie des transports, le public bénéficierait de ces réductions, mais l'État n'aurait plus rien pour faire face à ses autres services; il serait ainsi dans un déficit complet et l'opération qui l'aurait conduit à un tel résultat serait tout à fait erronée et déplorable. La formule posée par Favier et

(*) Favier, *Essai sur les lois du moment de traction*, 1841, p. 147 et 151. J.-B. Say, *Traité d'économie politique*, 1841, p. 130.

(**) *La statistique de la France de* 1861 *à* 1865, 2ᵉ série, t. XVI, publié en 1870, et t. XIX, publié en 1873, donne, y compris ce qui est consommé en frais :

Production de l'industrie agricole.	16 milliards
Id. id. manufacturière .	12 —
Ensemble.	28 milliards

Depuis 1865 nous avons perdu l'Alsace et une partie de la Lorraine, mais le signe monétaire a diminué de valeur et il est très vraisemblable que la production s'est accrue dans les provinces

par Say n'est donc pas exacte. La vraie règle est celle-ci : un travail est rémunérateur s'il rapporte l'intérêt courant, non à celui qui en use, mais à celui qui le paye.

Or, l'aperçu que nous avons donné de la méthode usitée par les ingénieurs montre que celle-ci se borne à indiquer le profit tiré du travail par le public, profit qui est la suite immédiate et ordinairement le seul résultat d'abord tangible de ce travail. Quelle modification ou quelle addition faut-il apporter à cette méthode, afin d'en déduire les conséquences de l'œuvre pour le capital d'établissement?

Le nœud consiste à déterminer quelle proportion existe entre le bénéfice du public et le gain du constructeur. Tentons cette recherche pour les ouvrages construits par un particulier ou une compagnie, par la commune, le département ou l'État.

Afin de simplifier et de faciliter notre exposé, nous prendrons 5 p. 100 comme expression de l'intérêt courant; les changements qu'apporterait à nos déductions une modification de ce chiffre seront faciles à apercevoir et à calculer.

Si un particulier fait une construction telle qu'un chemin,

---

qui nous restent : la somme de 28 milliards peut être encore admise par la valeur totale de la production annuelle française à l'époque actuelle.

D'un autre côté, suivant l'exposé des motifs du projet de budget pour l'exercice 1880, présenté à la chambre des députés le 23 janvier 1879, les recettes du budget de l'État ont été :

	francs.
pour l'exercice 1876 de.	2.725.237.928
id. 1877 de.	2.792.352.834
id. 1878 de.	2.852,346.931
Elles sont évaluées pour 1879 à.	2.701.080.014
et pour 1880 à.	2.756.070.370

Mais il est probable, sinon certain, que le règlement définitif des exercices 1879 et 1880 donnera des sommes supérieures à ces deux dernières évaluations, et, par suite, on peut regarder la somme de 2.800.000.000 de francs comme représentant maintenant la recette annuelle moyenne du budget de l'État.

un pont, un embranchement à rails, pour desservir une terre, une usine, ou tout autre bien lui appartenant, il profitera entièrement de l'économie sur les transports qui résultera du travail. Donc, si cette économie est de 5 p. 100 ou de plus, l'ouvrage sera rémunérateur pour le particulier constructeur.

Si un entrepreneur ou une compagnie fait un travail afin d'en tirer un péage, le public, pour user de ce travail, ne consentira pas, en général, à donner au constructeur tout le profit que lui-même en tirera. Le profit devra se partager entre le public et le péager; il faudra donc qu'il dépasse 5 p. 100, qu'il soit par exemple, de 10 p. 100, pour donner au constructeur 5 p. 100, c'est-à-dire pour être rémunérateur.

Dans notre pays, les gouvernements ont fait des essais réitérés pour tirer des péages des travaux construits par l'État; mais ces tentatives n'ont jamais obtenu de succès sérieux : l'administration a dû enlever des routes les barrières de perception, fermer les guichets des ponts, abaisser indéfiniment les droits de navigation. Par suite, l'État ne tire, en France, un profit de ces travaux que grâce à une augmentation du rendement des impôts corrélative à l'augmentation de la production nationale.

Or, cette production s'accroît des diminutions obtenues sur ses frais, et notamment des économies causées aux industries de toute nature par la plus grande facilité des communications. Ce principe peut être considéré comme un fait d'observation évident; mais il est facile de le rendre sensible par des exemples. Ainsi, un fermier emploie habituellement un cheval à conduire des denrées à la ville voisine; un chemin de fer s'établit et absorbe ce transport; le cheval devenu disponible servira à faire des labours, soit plus étendus, soit plus soignés, d'où résultera une augmentation des récoltes de la ferme; ou bien le fermier élèvera un cheval de moins et avec les fourrages que ce

cheval aurait consommés il nourrira des bœufs pour la boucherie : à l'âge de quinze ans peut-être, le cheval serait mort sur la ferme en laissant une dépouille de faible valeur, — au lieu de ce cheval, pendant les mêmes quinze années et avec les mêmes ressources, le fermier livrera cinq bœufs Durham à l'abattoir. Une usine, établie hors de la la ville, emploie un cheval à emmener des articles fabriqués et à ramener des matières premières ; après la construction du chemin de fer sur lequel circuleront ces objets, l'usinier attellera le cheval à un manège, ce qui augmentera d'autant le produit de la manufacture. Des maraîchers d'un village situé dans les environs de la ville viennent, soit tous les jours, soit deux ou trois fois par semaine, apporter les légumes au marché de cette ville ; quand le chemin de fer fonctionnera, ils expédieront par wagons ces marchandises à un revendeur ou à un facteur du marché, et le temps qu'ils employaient précédemment en trajets sera mis à la culture de leurs jardins, ce qui rendra la récolte plus considérable. Il est bien clair que, dans ces divers cas, la production sera augmentée, exactement, de l'économie réalisée sur les frais de transports.

Si l'on admet que la production totale annuelle de la France vaut 28 milliards, et que les perceptions du budget de l'État sont de 2.800 millions, somme égale au dixième de cette production totale, une économie ou un bénéfice de 50 francs, réalisé par notre industrie générale, aboutira, après des répercussions plus ou moins complexes, à augmenter en moyenne les recettes budgétaires de son dixième ou de 5 francs. Donc, un travail construit aux frais du budget sera rémunérateur pour l'État, en lui rapportant 5 p. 100 de sa dépense d'établissement, s'il rapporte au public dix fois plus, c'est-à-dire 50 p. 100 de cette même dépense.

Peut-être, au premier aspect, ce profit annuel de 50 p. 100 pour le public semblera-t-il exagéré ? Mais que l'on con-

sidère l'ensemble de nos chemins de fer ; ils ont coûté environ 10 milliards ; certes, s'ils n'existaient pas, notre production nationale serait réduite d'au moins 5 milliards, et la recette budgétaire d'au moins 500 millions. On peut estimer à 20 milliards (*) le coût total de l'ensemble des voies de circulation de tout ordre établies sur le territoire français : si aucune de ces voies n'existait, dans quelle condition serait notre pays ? ne faudrait-il pas estimer à bien plus de 10 milliards la réduction de notre production annuelle ? à bien plus de 1 milliard la réduction des recettes du budget ! Ces exemples montrent que les deux plus grands ensembles de travaux que l'on puisse envisager sur notre sol rapportent largement par année au public 50 p. 100, à l'État 5 p. 100 de leurs frais d'établissement. Ils montrent en outre qu'un des railways ou des autres chemins déjà construits avec des dépenses moyennes et pour une utilité moyenne, satisfait à ces deux percentages : d'où il résulte que, si une voie est construite à l'avenir dans ces mêmes *conditions* moyennes, elle donnera au public et à l'État les *mêmes* proportions de profit. Conclusion importante ! Idée encourageante sur les fruits que peut donner à la nation le développement de ses voies de communication !

Pour le sujet ici traité, la commune et le département se trouvent dans des conditions intermédiaires entre celle d'une compagnie péagère et celle de l'État. S'ils ne perçoivent pas un péage direct comme la compagnie, ils

(*) Ces 20 milliards se décomposeraient ainsi :

Ponts, routes nationales et départementales, chemins vicinaux.	5	milliards
Canaux et rivières navigables	1	—
Ports maritimes, avec les phares. etc.	1	—
Rues des villes, etc.	3	—
Ensemble	10	milliards
En ajoutant pour les chemins de fer	10	—
On arrive au total de	20	milliards

profitent comme l'État, et plus immédiatement que lui, de l'accroissement que prend sur leur territoire la recette des impôts; de plus, pour bénéficier de cet accroissement, ils ont des moyens spéciaux, tels que l'exhaussement du nombre des centimes additionnels, les octrois, les taxes locales diverses. On peut donc dire que la commune et le département tireront un profit rémunérateur d'un travail sans péage établi par eux, si ce travail donne au public qui en use un bénéfice intermédiaire entre les 10 p. 100 indiqués pour la compagnie péagère et les 50 p. 100 indiqués pour l'État, soit un bénéfice de 20 à 40 p. 100, sur son coût d'établissement.

Est-il besoin de faire observer que ces diverses évaluations de rapports n'ont aucune prétention à l'exactitude rigoureuse, et ne sont qu'un procédé pour exprimer des idées échappant réellement à des calculs précis? Est-il utile d'expliquer qu'à l'intérêt du capital doivent se joindre les frais d'entretien des ouvrages et les frais d'exploitation s'ils sont à la charge du constructeur? Faut-il montrer qu'une analyse approfondie exigerait, pour chacun des cas examinés, une distinction attentive entre l'utilité directe et l'utilité indirecte? Les développements de ces divers points trouveraient place dans un traité sur la question; mais ils ne rendraient pas plus nets les rapports généraux qui viennent d'être indiqués.

Quelle conséquence tirerons-nous des raisonnements ainsi présentés? Comme résultat principal, ils ont fait ressortir la fécondité d'un travail bien conçu et montré les avantages qu'une telle œuvre édifiée, soit par l'un, soit par l'autre, répandra sur tous. Cependant, puisqu'entre le bénéfice général annuel résultant d'un travail et le capital consacré à l'établissement de ce travail, la proportion qui rémunérera le constructeur peut s'évaluer à 5 p. 100 pour le particulier, 10 p. 100 pour la compagnie péagère, 20 à 40 p. 100 pour la commune ou le département, 50 p. 100

pour l'État, laissons autant que possible la personne, l'association, la localité intéressée, construire à ses frais l'ouvrage proposé ou désiré par elle. N'en chargeons l'État que si lui seul peut l'accomplir.

Il s'en trouvera d'autant mieux que l'économie ou le gain causé à la production par le nouvel ouvrage apportera aux impôts perçus par l'État la même augmentation, soit que l'État ait payé le travail, soit qu'il ait été exonéré de cette dépense.

Toutefois ces motifs sont loin de pouvoir suggérer à l'administration centrale une règle absolue de conduite. Bien des localités ont versé dans les caisses de l'État des contributions qui ont été employées à des travaux construits sur d'autres points de notre territoire; à leur tour, elles ont maintenant le droit de voir construire chez elles des travaux auxquels contribueront ceux de leurs concitoyens qui ont d'abord été favorisés. Sur les décisions de l'État à l'égard des travaux publics, combien d'influences variées peuvent être exercées par la défense du pays, par les rapports internationaux, par les intérêts de la civilisation!

Nous n'essaierons même pas de les énumérer; notre seul but a été de soumettre aux lecteurs des *Annales* une observation théorique sur un des points à considérer en matière de voies de communication et de travaux publics.

Paris, 22 juillet 1879.

N° 12

CANAL DE LA MARNE AU RHIN.

ALIMENTATION DU VERSANT DE LA MEURTHE.

CONSTRUCTION DU RÉSERVOIR DE PAROY.

NOTICE

Par M. A. PICARD, Ingénieur des ponts et chaussées.

CHAPITRE I.

Renseignements sommaires et généraux sur l'alimentation du canal de la Marne au Rhin.

Points de partage et versants du canal de la Marne au Rhin. — Le canal de la Marne au Rhin s'étend de Vitry-le-François à Strasbourg; sa longueur totale est de 315 kilomètres en nombre rond.

Il comporte deux biefs de partage, savoir :

— l'un dit *de Mauvages*, au passage du bassin de la Marne à celui de la Meuse;

— l'autre dit *des Vosges*, au passage du bassin de la Meurthe à celui du Rhin.

Au point de partage de Mauvages se rattachent :

— d'une part, le versant de l'Ornain, de la Saulx et de *la Marne*, qui prend son origine à Vitry-le-François;

— d'autre part, le versant de la Méholle, de *la Meuse* et de *la Moselle* qui se termine à Nancy.

Au point de partage des Vosges se rattachent :

— d'une part, le versant du Sanon et de *la Meurthe* qui prend son origine à Nancy ;

— d'autre part, celui de la Zorn et du *Rhin* qui se termine à Strasbourg.

Embranchements. — Sur l'artère principale viennent se greffer :

1° à Vitry-le-François, le canal de Vitry à Saint-Dizier ;

2° à Demange-aux-Eaux, l'embranchement de Houdelaincourt qui est de niveau avec le bief de partage de Mauvages ;

3° à Troussey, la branche « de la Meuse » du canal de l'Est ;

4° à Toul, la rigole navigable de la Moselle se reliant à la haute Moselle canalisée ;

5° à Frouard, la Moselle canalisée ;

6° à Jarville, près Nancy, la rigole flottable dite « de Jarville » mettant la Meurthe en communication avec le canal ;

7° à Laneuveville, la branche « de Nancy » du canal de l'Est ;

8° à Gondrexange, le canal des Houillères de la Sarre ;

9° à Hesse, la rigole flottable de la haute Sarre.

De ces divers embranchements, le 3°, le 5° et le 8° seuls empruntent une partie de leurs eaux d'alimentation au canal de la Marne au Rhin.

Mode d'alimentation. — Le versant de la Marne, le point de partage de Mauvages et le versant de la Meuse et de la Moselle en amont de Toul, y compris le bief de Pagny-sur-Meuse, qui constitue un bief de partage secondaire pour le canal de l'Est, ainsi que les deux premiers kilomètres de la descente en Meuse de cette voie navigable ont été alimentés jusqu'à ce jour par des prises d'eau dans la Saulx, l'Ornain et la Méholle et par les sources de Vacon tributaires de ce dernier cours d'eau.

Le versant de la Moselle entre Toul et Nancy emprunte ses ressources à la Moselle.

Le versant de la Meurthe entre Nancy et Dombasle les puise dans la Meurthe.

La section de ce versant située entre Dombasle et Réchicourt est alimentée :

— par les eaux venant du bief de partage des Vosges;

— et par le réservoir de Réchicourt dont la capacité est de 4.000.000 mètres cubes et qui est rempli tant au moyen du produit de son bassin que par les eaux de la Sarre.

La dernière section du même versant comprise entre Réchicourt et le bief de partage des Vosges, ce bief, le versant du Rhin jusqu'à Hoffmühl, enfin le canal des Houillères de Sarre jusqu'à Mittersheim, c'est-à-dire sur 20 kilomètres, tirent leur alimentation :

— de la Sarre,

— et de la réserve de Gondrexange dont la capacité utile est de 6.200.000 mètres cubes.

Le surplus du versant du Rhin reçoit ses eaux de la Zorn.

Insuffisance des ressources constatée dès avant la guerre de 1870. — Solution étudiée à cette époque pour y remédier. — Les ressources dont on dispose ainsi :

a — entre Vitry-le-François et Saint-Joire sur le versant de la Marne;

b — entre Toul sur le versant de la Moselle et Dombasle sur le versant de la Meurthe;

c — entre Hoffmühl et Strasboug sur le versant du Rhin ont toujours été suffisantes pour assurer la tenue d'eau de $1^{m},60$; elles l'étaient même pour le relèvement du mouillage à 2 mètres qui a été déclaré d'utilité publique :

1° de Void à Jarville, par la loi du 24 mars 1874, relative au canal de l'Est;

2° de Vitry à Void et de Jarville à la nouvelle frontière, par décret du 8 novembre 1877,

et qui est en partie réalisé.

Mais il en était autrement de Saint-Joire à Toul et de Dombasle à Hoffmühl.

L'insuffisance dans ces deux dernières sections préoccupait depuis longtemps les ingénieurs qui, dès avant 1870, avaient mis à l'étude des projets d'alimentation complémentaire dont les plus essentiels comportaient :

— pour le bief de partage de Mauvages et les parties supérieures des versants contigus, une prise d'eau dans la Meuse;

— pour le point de partage des Vosges, un accroissement considérable de la réserve de Gondrexange et l'établissement d'une rigole destinée à y jeter et à y emmagasiner les crues de la Sarre.

Nouvelle direction donnée aux études par les événements de 1870-1871 *et la construction du canal de l'Est. — Solution définitive du problème.* —Telle était la situation lorsque sont survenus les funestes événements de 1870-1871.

Ces événements ont arraché à la France, pour les faire passer entre les mains de l'Allemagne, la partie du versant de la Meurthe située au delà de Xures, le bief des Vosges et le versant du Rhin, c'est-à-dire un tronçon de 104 kilomètres de longueur et, avec ce tronçon, le réservoir de Réchicourt, celui de Gondrexange, la Sarre et la Zorn.

Ils ont d'ailleurs eu pour conséquence la construction du grand canal de l'Est et la réalisation de l'exhaussement à 2 mètres du mouillage du canal de la Marne au Rhin.

Les éléments du problème ont été ainsi profondément modifiés.

Les ingénieurs ont dû en conséquence reprendre leurs études sur de nouvelles bases et élaborer de nouveaux projets.

Les combinaisons adoptées par l'administration supérieure sont les suivantes :

1° BIEF DE PARTAGE DE MAUVAGES ET VERSANTS QUI EN DÉPENDENT.

Des usines hydrauliques élévatoires de 800 chevaux de force brute en nombre rond, en cours d'exécution, sont installées près de Toul, sur la Moselle, pour puiser dans cette rivière en utilisant la chute disponible de 3 barrages à aiguilles et refouler à 40 mètres de hauteur 800 litres environ par seconde qui seront recueillis dans une rigole destinée à les jeter dans le grand bief de Pagny-sur-Meuse.

Un réservoir sera en outre probablement établi dans le bassin de la haute Meuse ; les eaux de ce réservoir seront lancées dans la Meuse et reprises par des machines à vapeur au premier point de contact de cette rivière et du canal près de Pagny.

Une partie des eaux ainsi amenées dans le bief de Pagny servira directement à alimenter ce bief, la descente de Foug à Toul et celle du canal de la Meuse.

Le surplus sera repris à Vacon par des pompes à vapeur et jeté par une rigole dans le bief de Mauvages pour compléter l'alimentation de ce point de partage et des versants voisins entre Saint-Joire et Vacon.

2° VERSANT DE LA MEURTHE ENTRE DOMBASLE ET LA NOUVELLE FRONTIÈRE.

L'Allemagne s'étant emparée des ressources alimentaires du versant de la Meurthe au delà de Dombasle et ne s'étant engagée par la convention internationale des 23 avril-19 juin 1873 qu'à fournir l'eau nécessaire pour le maintien du mouillage ancien de $1^m,60$, il y est pourvu par la construction du réservoir secondaire de Paroy dont le double objet est :

— de fournir l'appoint indispensable pour l'exhaussement de la tenue d'eau à 2 mètres ;

— d'assurer l'alimentation et le maintien des relations

entre le puissant groupe industriel du Sanon et la France pendant les chômages allemands.

Grâce à ces travaux considérables dont l'importance se justifie par le développement incessant de l'industrie dans la région de l'Est (*) et du trafic du canal de la Marne au Rhin (**), il sera satisfait dans la mesure la plus large non seulement aux besoins du moment, mais encore à ceux de l'avenir pour de longues années.

Objet de la présente notice. — Nous venons par la présente notice donner quelques indications sur les principales dispositions et le mode d'exécution du réservoir de Paroy, ainsi que sur les études préliminaires qui ont abouti à la construction de ce réservoir dont nous avons été chargé sous les ordres de M. l'Ingénieur en chef Volmerange, puis de M. l'Inspecteur général Frécot (***).

CHAPITRE II.

Situation du réservoir. — Niveau de la retenue. — Régime de la réserve.

Emplacement du réservoir. — Le réservoir de Paroy est situé à l'emplacement d'un ancien étang, à gauche du 16me bief du versant de la Meurthe et à 7 kilomètres environ de la nouvelle frontière (****).

(*) Le département de Meurthe-et-Moselle est de beaucoup le premier de la France au point de vue de la production métallurgique.

(**) Le trafic du canal de la Marne au Rhin a atteint, en 1877 600.000 tonnes et dépassera notablement ce chiffre après l'ouverture du canal de l'Est.

(***) L'avant-projet du réservoir de Paroy a été étudié par M. Pugnière, alors ingénieur ordinaire.

(****) La frontière coupe à 964 mètres de l'écluse 14, le bief 14

Il est contigu à la voie navigable.

Son bassin, dont la superficie est de 1193 hectares, est entièrement dans les marnes irisées.

Son orientation, suivant le thalweg de la vallée, est du nord-nord-est au sud-sud-ouest.

Les points les plus bas de la cuvette du réservoir sont, abstraction faite de quelques dépressions locales, à la cote (226) du nivellement général de la France, c'est-à-dire à $0^m,55$ en contre-haut du plafond du bief n° 16 du canal, et à $1^m,45$ en contre-bas du plan d'eau de ce bief tendu à 2 mètres de mouillage.

Le niveau assigné à la retenue s'élève à la cote 231,55, c'est-à-dire :

— à $5^m,55$ en contre-haut du fond de la cuvette ;

— à $6^m,10$ au-dessus du plafond du bief n° 16 ;

— et à $4^m,10$ en contre-haut du plan d'eau de ce bief tendu à 2 mètres.

A ce niveau, la superficie de la nappe d'eau est de $73^h,55$; sa plus grande longueur atteint 1800 mètres et sa largeur maxima, un kilomètre.

Sa capacité est de 1.710.000 mètres cubes, savoir :

	mèt. cub.
— au-dessous du plan d'eau du bief n° 16.	120.000
— au-dessus de ce plan.	1.590,000
Total.	1.710.000

Nous verrons, par la suite, que ce cube est suffisant pour les besoins de l'alimentation. Il était d'ailleurs à peu près impossible d'élever davantage la retenue sans noyer les maisons de la partie inférieure du village de Bures dont

dont l'alimentation dépend nécessairement de l'administration allemande. La longueur du bief 15 qui continuera également à être exclusivement alimenté par les eaux allemandes est de 3 kilomètres. — Les biefs 16 à 22 inclusivement, dont l'alimentation sera complétée par le réservoir de Paroy, ont ensemble 24 kilomètres.

es planchers les plus bas sont à la cote (232), c'est-à-dire à 0m,45 seulement du niveau supérieur du réservoir; il a même fallu, pour admettre une revanche aussi faible :

— donner au déversoir de superficie un développement considérable et empêcher ainsi les eaux de dépasser sensiblement leur niveau réglementaire ;

— prévoir au droit du village et à la limite du réservoir un petit brise-lames pour arrêter les vagues;

— enfin exécuter quelques travaux d'assainissement.

Régime de la réserve. — Nous avons dû, avant d'arrêter définitivement le niveau et les dispositions à attribuer au réservoir, rechercher quel serait le régime de la réserve ; il ne nous paraît pas inutile de donner quelques renseignements sur la nature et les résultats de cette étude qui constituait, comme toujours en pareil cas, la partie la plus délicate de la rédaction du projet.

Ressources. — Les jaugeages du ruisseau de fuite de l'ancien étang de Paroy étaient trop incomplets, trop peu nombreux et trop peu précis pour nous permettre d'apprécier avec quelque approximation le volume d'eau fourni en année moyenne et en année sèche par les versants.

Nous avons par suite été amené à assimiler le bassin de Paroy à celui de Gondrexange sur lequel des observations très détaillées et très exactes se faisaient depuis de longues années par les soins du service du canal de la Marne au Rhin.

Cette assimilation était parfaitement admissible et il était légitime de supposer que l'on recueillerait au moins autant d'eau par unité de surface à Paroy qu'à Gondrexange.

En effet :

a — le bassin du réservoir de Paroy est mieux orienté par rapport aux vents pluvieux et notamment à ceux de l'ouest-sud-ouest qui viennent rencontrer normalement les pentes abruptes du versant est ;

b — les terrains de Paroy étant entièrement dans l'étage des marnes irisées sont au moins aussi imperméables, si ce n'est plns, que ceux de Gondrexange dont une partie seulement sont dans les marnes irisées et qui se trouvent pour le surplus dans le muschelkalk ;

c — les pentes des versants de Paroy sont plus accusées ;

d — ces versants sont dénudés, tandis que ceux de Gondrexange sont boisés ;

e — pour ces trois derniers motifs, le coëfficient d'absorption soit par le sol, soit par les plantes, est moins considérable dans le premier bassin que dans le second.

Cette assimilation admise, nous nous sommes tout d'abord rendu compte des ressources annuelles moyennes et minima.

Le dépouillement des attachements tenus à l'étang de Gondrexange de 1856 à 1870, c'est-à-dire pendant 14 ans, nous a montré :

— que le volume d'eau recueilli par mètre carré de bassin de ce réservoir n'était pas descendu au-dessous de $0^{\text{mèt. c.}},150$, minimum correspondant à l'année 1865 ;

— qu'il avait été de $0^{\text{mèt. c.}},286$ en moyenne ;

— que l'on pouvait par suite compter à Paroy sur un minimum de. . . . . $1.670.000^{\text{mèt. c.}}$

et sur une moyenne de. . . . . $3.180.000^{\text{mèt. c.}}$ (*)

Une fois ces renseignements généraux trouvés, nous avons dû entrer davantage dans les détails de l'étude, afin d'éviter les erreurs et les mécomptes auxquels on est exposé en pareille matière quand on fait porter ses calculs sur des périodes trop longues.

Nous avons donc dressé, semaine par semaine, le compte des eaux qui entreraient dans l'étang pour une période de

(*) Dans un rapport du 28 juin 1856 sur l'alimentation du canal de la Marne au Rhin, M. l'ingénieur en chef Jacquiné évaluait à 3.896.000 mètres cubes le produit moyen du bassin de Paroy.

sécheresse exceptionnelle semblable à celle de 1857 à 1860, c'est-à-dire pour une période particulièrement défavorable à l'alimentation.

Les chiffres de ce compte sont portés à la colonne (2) de l'état annexé au présent mémoire ; ils sont obtenus en réduisant les produits de l'étang de Gondrexange dans la proportion des surfaces des bassins, c'est-à-dire dans le rapport de 4500 à 1190.

Dépenses. — Nous avons ensuite établi, également par semaine et pour les mêmes années, le compte des dépenses.

Ces dépenses se composent :

— du cube nécessaire à l'alimentation des biefs 16 à 22, évalué à 2.100.000 mètres cubes par an, ou 5800 mètres cubes par jour (Voir colonne 3 de l'état annexe);

— des pertes résultant de l'évaporation superficielle du réservoir, pertes qui sont loin d'être négligeables et que nous avons évaluées en multipliant pour chaque semaine la surface moyenne de la nappe d'eau pendant cette période de temps par la hauteur d'eau évaporée à Gondrexange (colonne 4 de l'état) ;

— enfin des eaux qui passent par-dessus le déversoir régulateur de superficie et dont le volume a été calculé en ajoutant au cube de la réserve au commencement de chaque semaine l'excès des recettes sur les dépenses par évaporation et par alimentation durant cette période, et retranchant ensuite du nombre ainsi obtenu toute la partie excédant la capacité maxima du réservoir (Voir colonne 5 de l'état).

Les dépenses totales ont été inscrites à la colonne 6.

Balance des recettes et des dépenses. — Puis nous avons fait la balance des recettes et des dépenses et porté dans les deux colonnes 7 et 8 les augmentations et les diminutions du cube de la réserve, c'est-à-dire les excès hebdomadaires des ressources sur les pertes ou inversement.

Enfin, en supposant que le réservoir soit plein au com-

mencement de la période, nous avons dressé la dernière colonne, 9 de l'état, dont les chiffres donnent à l'origine de chaque semaine le cube de la réserve.

Ces chiffres permettent de suivre d'une manière pour ainsi dire continue l'allure du réservoir et montrent :

— qu'il ne se serait épuisé qu'au mois de novembre 1858 ;

— qu'il se serait d'ailleurs relevé aussitôt, pour se remplir entièrement en deux mois d'une année pluvieuse comme 1860.

Tableau graphique du régime de la réserve. — Afin de rendre plus claires les indications de l'état annexe, nous en avons consigné les résultats dans un tableau graphique (Pl. 5, *fig.* 1).

Les courbes de ce tableau sont rapportées à deux axes XY et XZ pris, le premier pour axe des temps, le second pour axe des cubes. Elles sont au nombre de quatre, savoir :

1° COURBE DES RESSOURCES.

Les ordonnées de cette première courbe représentent les volumes d'eau entrés dans le réservoir depuis le 1er janvier de chaque année.

2° COURBE DE L'EXCÈS DES RESSOURCES SUR LES DÉPENSES.

Les ordonnées de cette deuxième courbe sont obtenues en déduisant de celles de la courbe des ressources et à partir de cette première courbe les longueurs représentant les dépenses d'alimentation et les pertes par évaporation à la surface du réservoir cumulées également depuis le 1er janvier; elles sont positives ou négatives suivant que l'étang a reçu plus ou moins d'eau qu'il n'en a perdu depuis le commencement de l'année.

Les tangentes à cette courbe font, à un jour donné, un angle aigu ou obtus avec l'axe des temps, suivant qu'à cette date le réservoir reçoit plus ou moins d'eau qu'il n'en

fournit pour l'alimentation et qu'il n'en perd par évaporation.

3° COURBE DES CUBES DE LA RÉSERVE.

Cette courbe part du sommet de l'ordonnée représentant le cube de la réserve à l'origine de l'année 1857, puis se développe parallèlement à celle de l'excès des ressources sur les dépenses, abstraction faite toutefois des ordonnées de cette dernière courbe qui donneraient dans le réservoir un volume supérieur à la capacité maximum.

4° COURBE DU TROP PLEIN.

La courbe du trop plein, c'est-à-dire des cubes qui passent par-dessus le déversoir de superficie, s'obtient en traçant au-dessus de la parallèle à l'axe des temps représentant la capacité du réservoir des parallèles à la courbe de l'excès des ressources sur les dépenses depuis le moment où l'*étang est* plein jusqu'à l'instant où il commence à *perdre plus* qu'il ne reçoit, c'est-à-dire où la tangente à la courbe de l'excès des ressources sur les dépenses fait un angle obtus avec l'axe des temps.

Conclusions de l'étude du régime de la réserve. — Les recherches analytiques résumées dans l'état annexe et dans le tableau graphique du régime de la réserve ne sauraient évidemment être considérées comme ayant une précision mathématique ; elles ne constituent qu'un moyen d'investigation présentant une approximation aussi grande que possible.

Mais elles n'en établissent pas moins que la hauteur assignée à la retenue est celle qui est la mieux appropriée, à la fois, à la situation du réservoir et aux besoins de l'alimentation, et qu'elle suffira largement à assurer cette alimentation, même dans les années exceptionnellement sèches.

CHAPITRE III.

Dispositions de la digue de retenue.

Emplacement. — L'emplacement de la digue du réservoir était naturellement indiqué par la levée de l'ancien étang (voir Pl. 3, *fig.* 1 et 5).

Deux solutions comparatives ont été étudiées. Elles consistaient :

— l'une, à utiliser cette levée et à en modifier le profil de manière à lui donner la hauteur et la puissance nécessaires;

— l'autre, à établir une digue nouvelle en avant de l'ancienne.

La première combinaison, séduisante au premier abord, avait en fait l'inconvénient :

1° d'exiger une épaisseur en couronne beaucoup plus forte pour l'assiette du chemin de grande communication de Dombasle à Sarrebourg, dont la largeur minimum est de 8 mètres, et de nécessiter ainsi un cube de terrassements considérable;

2° de rendre inévitable un empierrement coûteux pour ce chemin;

3° d'incorporer dans la digue des remblais ne présentant pas toutes les garanties désirables;

4° enfin et surtout, d'entraîner des sujétions sérieuses pour le maintien de la circulation pendant la construction et d'accroître ainsi les difficultés d'exécution.

La seconde combinaison, exempte de ces inconvénients, avait en outre l'avantage de permettre d'adosser la nouvelle digue à l'ancienne sur presque toute son étendue et de lui donner ainsi, sans supplément de dépense, plus d'empatement et une solidité beaucoup plus grande; c'est celle qui a été admise par l'administration supérieure.

Tracé en plan et longueur. — Le tracé de la digue est rectiligne sur les deux tiers environ de sa longueur à partir de l'extrémité ouest ; il s'infléchit légèrement vers son extrémité est, pour se placer en avant et à une distance suffisante d'une ancienne chambre d'emprunt très profonde, ouverte à l'époque de la construction du canal, chambre qui est utilisée comme nous l'expliquerons par la suite.

La digue s'enracine d'ailleurs très fortement à droite et à gauche dans le coteau, de manière à ne pas être tournée par les eaux.

Son développement est de 420 mètres en nombre rond.

Profil type. — La digue est en terre, avec revêtement du type à gradins indépendants qui a été proposé et appliqué au canal du Centre par M. l'ingénieur en chef Vallée — adopté depuis par M. l'inspecteur général Duverger pour le réservoir de Montaubry — et plus récemment encore employé par M. l'inspecteur général Bénard et M. l'ingénieur Hirsch au réservoir de Mittersheim (Pl. 3, *fig. 3 à 6*).

Profil au-dessus de la retenue. — Le relief de la digue en contre-haut du niveau supérieur de la retenue est de $0^m,70$, non compris un parapet de 1 mètre.

Ce chiffre est un minimum au-dessous duquel il eût été impossible de descendre, sans compromettre la conservation de la levée. Il est néanmoins suffisant, eu égard à l'orientation du réservoir qui soustrait la digue à l'action des ouragans de l'ouest et du sud.

Largeur en couronne. — La largeur en crête est de $4^m,50$, savoir :

	mètres.
— épaisseur du parapet maçonné.	0,50
— largeur en arrière.	4,00
Total pareil.	4,50

Cette dimension, relativement faible, suffit au cas particulier, à raison du peu de hauteur de la retenue et du sur-

croît de puissance donné à la digue par sa butée contre l'ancienne levée de l'étang.

Le couronnement de la digue est d'ailleurs réglé suivant une pente de $0^m,04$ par mètre vers l'aval.

Revêtement d'amont. — La digue est, comme il a été dit ci-dessus, revêtue en maçonnerie du côté d'amont.

Le réservoir étant exposé à se couvrir de glaçons épais qui, poussés par un vent violent, pourraient attaquer ce revêtement, on a jugé nécessaire d'attribuer aux risbermes une plus grande puissance qu'au canal du Centre et par suite de donner aux gradins un plus grand développement, pour assurer l'indépendance des murettes successives; on est toutefois resté en dessous des dimensions du réservoir de Mittersheim, dont l'étendue et la profondeur sont notablement supérieures à celles du réservoir de Paroy.

Chaque gradin a une hauteur de $2^m,25$ et une largeur de $3^m,65$ se décomposant comme il suit :

	mèt.		mèt.
— Hauteur de la risberme.	0,50	— Base de la risberme. .	2,20
— Hauteur de la murette.	1,75	— Base de la murette. . .	1,45
Totaux pareils. .	2,25	. . . .	3,65

Au droit du thalweg, la digue a une hauteur totale de $6^m,25$, non compris le parapet ; la base du revêtement est de $8^m,75$; le talus moyen de ce revêtement est donc un peu supérieur à $\frac{3}{2}$.

Les murettes sont en maçonnerie ordinaire avec parement en moellons demi-smillés et couronnement en moellons piqués disposés en hérisson (sauf pour la murette supérieure). Leur épaisseur est de $0^m,40$ au sommet et $0^m,55$ à la base.

Elles reposent, à l'exception de celle du gradin inférieur, sur un patin en béton de $0^m.40$ d'épaisseur.

Les risbermes se composent d'une couche de béton de menu gravier de $0^m,10$ d'épaisseur surmontée d'un pavage

maçonné en moellons demi-smillés de 0m,15 de queue moyenne ; leur épaisseur totale est donc de 0m25.

Mur de garde. — La murette inférieure repose sur un mur de garde vertical de 1 mètre d'épaisseur, descendant autant que possible jusqu'au terrain absolument imperméable et, en tous cas, assez bas pour que l'on n'ait pas à craindre les filtrations par-dessous la digue.

Ce mur repose sur un patin en béton ; sa hauteur maxima est de 2m,80.

Il a été nécessaire, aux abords du thalweg, de l'asseoir sur du sable bien pilonné substitué au terrain naturel qui n'offrait pas une solidité suffisante.

Parapet. — Le revêtement est surmonté d'un parapet de 1 mètre de hauteur, formé :

— d'un socle en moellons piqués de 0m,50 d'épaisseur et 0m,70 de hauteur ;

— et d'un couronnement en pierre de taille de 0m,60 de largeur et 0m,30 d'épaisseur.

Ce parapet repose sur un empatement en maçonnerie ordinaire faisant corps avec la murette supérieure.

Corps de la digue. — La digue s'appuie, ainsi que le montrent les figures 3 et 4, Planche 3, contre l'ancienne levée.

Son épaisseur au niveau du fond de l'étang est de près de 20 mètres.

Son talus postérieur est réglé à 3 de base pour 2 de hauteur.

Nous aurions voulu la former entièrement de terre argilo-sablonneuse renfermant environ 3 parties de sable pour deux d'argile ; nous espérions à cet effet trouver dans l'étendue du bassin de l'étang, comme sur beaucoup d'autres points de l'étage des marnes irisées, des dépôts de diluvium alpin. Mais les recherches faites dans ce but ont été absolument infructueuses et ce n'est qu'à grande peine qu'il nous a été possible de découvrir sur la rive gauche

du Sanon, à un peu plus de 1 kilomètre de distance de la digue, un gisement sableux de bonne qualité.

Le transport à pied d'œuvre des terres de ce gisement devant coûter fort cher, nous avons pris le parti :

— d'en limiter l'emploi à la partie antérieure de la digue sur une épaisseur moyenne de $2^m,50$, c'est-à-dire à la zone qui était la plus exposée, qui portait directement le revêtement et où il fallait à tout prix éviter les tassements et les glissements ;

— de constituer le surplus de la levée au moyen de marnes très saines empruntées dans le coteau, vers les deux extrémités de la digue.

Les sondages faits dans l'étang à l'emplacement de la digue avaient prouvé que le fond de cet étang était recouvert d'une couche d'alluvions vaseuses dont l'épaisseur allait naturellement en décroissant du centre aux extrémités, mais atteignait au droit du thalweg une grande puissance (8 à 10 mètres au moins).

Ces alluvions étaient extrêmement molles et fluentes à la surface ; leur tassement et leur résistance croissaient avec leur profondeur.

Elles étaient incapables de porter la partie antérieure de la digue sans s'échapper latéralement et provoquer des éboulements et des boursouflements ; on les a enlevées sur une largeur de 5 mètres et sur une profondeur maxima de 4 mètres en ne s'arrêtant que sur des couches susceptibles de résister à une pression de $2^k,600$ au moins par centimètre carré sans se déprimer sensiblement. Puis on les a remplacées par des terres de bonne qualité, parfaitement corroyées et rattachées au terrain situé en arrière par des gradins de $0^m,50$ de hauteur et $0^m,75$ de base.

On a en outre relié le corps de la digue au sol au moyen de parafouilles de 1 mètre de largeur et 1 mètre de profondeur en marnes d'emprunt soigneusement pilonnées.

Enfin on a corroyé les parties conservées de l'ancien fond de l'étang.

Les terres enlevées sous la digue ont été mises en cavalier en arrière du chemin de grande communication. Disposées par couches de faible épaisseur, elles ont pu se dessécher suffisamment et ont ainsi contribué à augmenter l'empatement de la levée.

Les remblais ont été tout d'abord établis du côté de l'étang avec un trop gras dans lequel on est venu ensuite tailler la forme des murettes et des risbermes.

Les terres argilo-sablonneuses de la partie antérieure ont d'ailleurs été mélangées de chaux en poudre.

Tout le corps de la digue a été énergiquement corroyé par des procédés qui seront indiqués ultérieurement.

Ouvrages accessoires. — Les ouvrages accessoires complétant la digue comprennent :

— au sommet, une petite chaussée en gravier de $0^m,15$ d'épaisseur et 3 mètres de largeur destinée à faciliter la circulation ;

— sur le talus postérieur, des pierrées de $0^m,25$ d'épaisseur et $0^m,25$ de largeur, ménagées à $0^m,80$ en contre-bas du parement, assurant le rapide écoulement des eaux pluviales pour empêcher ces eaux de séjourner dans les remblais, de les délaver et d'y causer des glissements, et aboutissant à un contre-fossé longitudinal qui sépare la digue du chemin de grande communication.

CHAPITRE IV

Ouvrages d'art.

Réunion du déversoir, de la bonde de fond et de la prise d'eau en un ouvrage unique. — La digue du réservoir de Paroy devait présenter :

1° un déversoir destiné à empêcher les eaux de se surélever outre mesure au-dessus du niveau réglementaire;

2° une bonde de fond destinée à assurer la vidange totale ou partielle de l'étang en cas de besoin;

3° un ouvrage de prise d'eau pour l'alimentation du canal.

Nous avons, au cas particulier, réuni ces trois ouvrages en un seul que nous avons placé à l'extrémité est de la digue en amont de l'ancienne chambre d'emprunt.

Cette combinaison avait l'avantage :

a — d'éviter toute construction dans la région vaseuse de l'étang où il aurait été à peu près matériellement impossible d'asseoir des fondations, même au prix des plus grands sacrifices;

b — de ne faire des travaux d'art que sur un sol parfaitement résistant;

c — de réduire au minimum le nombre des points de contact des maçonneries et des remblais, c'est-à-dire des points où se produisent toujours les filtrations, et de respecter par suite autant que possible l'étanchéité de la digue;

d — de diminuer considérablement les dépenses;

e — de comporter l'établissement d'un aqueduc de fuite unique sous la levée;

f — de permettre l'utilisation du ponceau construit antérieurement sous le chemin de grande communication de Dombasle à Sarrebourg et le ruisseau qui y fait suite;

g — d'utiliser également, comme nous allons l'expliquer, la chambre d'emprunt située entre la digue et le canal.

Nature du déversoir. — Nous avons étudié plusieurs systèmes de déversoirs, savoir :

— un siphon analogue à celui que M. l'ingénieur Hirsch a imaginé et appliqué à Mittersheim et dont il a décrit les dispositions dans *les Annales des ponts et chaussées* (1869 — 1er semestre, page 218 et suivantes);

— un système de hausses analogues à celles des barrages établis sur la Marne par M. l'inspecteur général Desfontaines, mais rendues automobiles et s'ouvrant lorsque le niveau de l'eau dépassait la limite réglementaire, pour se refermer aussitôt après l'écoulement du trop-plein ;

— enfin un déversoir en maçonnerie.

Le siphon aurait coûté un peu cher.

Les hausses automobiles dont nous avions fait construire un modèle et que nous avions expérimentées paraissaient devoir fonctionner convenablement; mais nous y avons également renoncé dans la crainte que leurs articulations vinssent à s'oxyder et qu'au moment utile leur sensibilité fût altérée ou détruite.

Nous nous sommes décidé à proposer et l'administration a adopté l'emploi d'un déversoir en maçonnerie. Ce genre de déversoir est encore à notre avis le plus sûr, le plus économique et le meilleur à tous égards. D'ailleurs, au cas particulier, il était exempt du seul inconvénient qu'on lui reproche généralement, celui de perdre beaucoup par les vagues; en effet l'eau qu'il laissera ainsi échapper sera recueillie par la chambre d'emprunt convenablement aménagée (Voir page 109 de la présente notice).

Dispositions du déversoir. — L'emplacement et la nature du déversoir étant ainsi déterminés, nous lui avons attribué une forme demi-circulaire; cette forme était en effet celle qui offrait le plus de résistance à la poussée de l'eau et qui permettait par suite de réduire au minimum le cube des maçonneries.

Nous l'avons d'ailleurs fait à deux étages (Pl. 4, *fig.* 1 à 5) :

— d'une part, afin de diviser la chute de l'eau et de diminuer l'effet destructeur de cette chute sur les radiers ;

— d'autre part, afin de réduire l'épaisseur des murs et la dépense.

Le mur supérieur qui constitue le déversoir proprement dit a 20 mètres de développement environ.

Ce développement considérable était commandé par la proximité du village de Bures — par l'extrême tension de la retenue relativement aux points bas de ce village — et par la nécessité absolue d'éviter une surélévation sensible du niveau réglementaire.

Il est facile de vérifier par les formules ordinaires d'hydraulique que l'épaisseur de la lame déversante ne dépassera en aucun cas $0^m,19$ pour un écoulement permanent de 3 mètres cubes par seconde, chiffre qui représente le produit maximum du bassin d'après des jaugeages directs, lors même que le garde ne soulagerait pas le déversoir en levant les vannes de fond.

Il convient d'ailleurs d'observer qu'une partie du trop-plein s'emmagasinera dans le réservoir en même temps que le complément s'écoulera par déversement. En désignant :

par x la hauteur de la retenue à l'instant t,
dx son accroissement pendant le temps dt,
s la surface du réservoir,
l la longueur du déversoir,
q le produit du bassin par seconde,

On a la relation :

$$dt = \frac{s\,dx}{q - 0{,}40\,lx\sqrt{2gx}}.$$

L'intégration de cette fonction rationnelle montre que les eaux ne pourraient atteindre la hauteur de $0^m,19$ ci-dessus indiquée qu'à la suite d'un apport continu de 3 mètres cubes par seconde pendant 36 heures, délai de beaucoup supérieur à la durée des orages violents.

Nous ferons enfin remarquer que le garde, qui doit être logé près de l'étang et le surveiller incessamment, en pareil cas, ne manquerait pas de lever au besoin les vannes de

fond de la hauteur nécessaire pour assurer l'écoulement du trop-plein.

On peut donc en résumé considérer comme certain que jamais le plan d'eau ne dépassera de plus de quelques centimètres le couronnement du déversoir, c'est-à-dire le niveau réglementaire de la retenue.

Le mur supérieur a $2^m,80$ de hauteur ; il est vertical du côté d'aval et présente un fruit de $\frac{1}{5}$ du côté d'amont ; son épaisseur est :

— au sommet, de 1 mètre ;

— à la base, de $1^m,60$;

— et en moyenne, de $1^m,30$.

Il est couronné par une tablette en pierre de taille de $0^m,40$ d'épaisseur arrondie à l'amont dans le but de faciliter le déversement ; cette tablette forme saillie de $0^m,15$ à l'aval et porte à sa partie inférieure un larmier pour empêcher la lame d'eau de lécher les maçonneries.

Il repose sur un patin en béton de $0^m,80$ d'épaisseur avec empatement extérieur de $0^m,25$.

Les parements vus sont en moellons smillés.

Le mur inférieur à $2^m,90$ de hauteur. Ses dispositions générales sont semblables à celle du mur supérieur ; toutefois le couronnement en pierre de taille n'a que $0^m,60$ de largeur et le patin en béton a $0^m,90$ d'épaisseur.

A la base du premier mur est construit un premier radier de 1 mètre d'épaisseur qui est formé d'un pavage à mortier en assises concentriques et d'une couche de béton et arasé à $0^m,25$ en contre-bas du couronnement du second mur, de manière à emmagasiner une tranche d'eau destinée à amortir la chute de la lame déversante.

A la base du second mur est également ménagé un radier général demi-circulaire de $1^m,10$ d'épaisseur dérasé à $0^m,65$ en contre-bas des points les plus déprimés de la cuvette du réservoir.

Le déversoir s'appuie contre un mur plan et vertical

adossé à la digue et se prolongeant de 3 mètres de chaque côté dans le remblai, afin de couper court aux filtrations qui tendraient à se produire entre les maçonneries du déversoir et les terrassements.

Dans ce mur est ménagée l'ouverture de l'aqueduc de fuite.

Aqueduc de fuite. — L'aqueduc de fuite, établi pour livrer passage aux eaux de déversement sous la digue, est en plein cintre; il a 3 mètres d'ouverture et 2m,50 de hauteur sous clef.

Il comporte un radier général maçonné qui présente une concavité de 0m,20 de flèche — dont l'épaisseur sur l'axe est de 0m,60 — et dont les naissances sont à 0m,40 en contre-haut du radier inférieur du déversoir pour maintenir constamment sur ce dernier une lame d'eau.

Sa longueur est de 9m,50 en nombre rond ; les murs en retour affectent la forme d'un quart de cercle ; cette forme que nous avons cherché à appliquer à tous nos ouvrages a le double objet :

— de réduire les contractions de la veine liquide et d'accroître ainsi la capacité de débit de ces ouvrages ;

— d'éviter des chaînes de pierre de taille.

Les talus et le plafond de la chambre d'emprunt à la suite sont protégés par des perrés partie à mortier, partie à sec, et par des enrochements.

Bonde de fond et prise d'eau. — La bonde de fond est formée de deux aqueducs dallots de 0m,60 d'ouverture et 1m,20 de hauteur chacun, ménagés dans l'étage inférieur du déversoir.

Ces aqueducs devant résister à des courants très violents sont entièrement en pierre de taille.

Leur radier est à 0m,25 en dessous des points les plus bas de la cuvette de l'étang.

Ils sont fermés par des vannes qui, ayant à supporter une forte pression, sont en fonte et qui se manœuvrent au

moyen de crics en fer d'une force de 3000 kilog. calculée de manière à n'exiger jamais un effort supérieur à 10 kilog. de la part des agents chargés de la manœuvre.

On accède aux crics par une passerelle de service placée à $0^m,45$ au-dessus du couronnement du déversoir, munie d'un garde-corps et mise elle-même en communication avec le sommet de la digue au moyen d'escaliers.

En avant de la bonde de fond sont établis deux musoirs de $1^m,70$ de largeur et d'une saillie égale, pourvus de rainures permettant d'y établir un barrage à poutrelles qui servirait en cas de réparation aux vannages et qui est même, pour plus de sécurité, maintenu d'une manière permanente, de telle sorte que la retenue ne le surmonte jamais que de la quantité nécessaire à l'écoulement de l'eau empruntée pour l'alimentation du canal.

Les parements de ces musoirs contigus à la bonde et ceux d'amont sont en maçonnerie de pierre de taille; les autres sont en moellons smillés. Les angles sont arrondis.

Des murs en aile circulaires raccordent l'ouvrage avec les talus d'une rigole qui se détache du thalweg pour aboutir à la bonde et y amener les eaux en cas de vidange.

Les talus de cette rigole sont perreyés aux abords de la bonde; le plafond en est également protégé par un revêtement, partie en maçonnerie à mortier, partie en enrochements.

Prise d'eau. — La bonde de fond sert en même temps d'ouvrage principal de prise d'eau.

Réservoir secondaire à l'aval de la digue. — Les eaux du réservoir, après avoir franchi le déversoir ou la bonde de fond, arrivent, par l'aqueduc établi sous la digue, dans l'ancienne chambre d'emprunt dont on a régularisé les rives et relevé le fond de manière à en faire un petit bassin secondaire qui est mis à volonté en communication avec le canal ou avec le ruisseau de fuite au moyen d'un ouvrage répartiteur dont il va être question.

Ce petit bassin recueille les eaux qui sont chassées par les vagues par-dessus le déversoir et qui, s'il n'existait pas, seraient perdues pour l'alimentation.

Pont sous le chemin de grande communication. — Le ruisseau de fuite passe sous le chemin de grande communication par un ponceau de 4^m,20 d'ouverture qui existait antérieurement, mais dont le radier était trop élevé pour assurer la vidange complète du réservoir et sous lequel on a par suite dû pratiquer une cunette de 0^m,58 de profondeur.

Ouvrage répartiteur. — Une fois arrivées au delà du chemin, les eaux rencontrent un ouvrage répartiteur qui permet de les envoyer soit dans le canal, soit dans le ruisseau de fuite, et qui se compose en réalité de deux ouvrages accolés, savoir :

— un ouvrage de prise d'eau pour l'alimentation du canal;

— et un ouvrage de décharge (Pl. 4, *fig.* 6 à 8).

L'ouvrage de prise d'eau consiste essentiellement en un aqueduc dallot de 0^m,80 d'ouverture et 1^m,20 de hauteur dont le radier est au niveau du plafond du canal.

Cet aqueduc comporte :

a — du côté du canal, deux murs en ailes profilés suivant les talus de la cuvette, légèrement évasés afin de rendre plus facile l'écoulement de l'eau, et munis de rainures à poutrelles au droit de la banquette à fleur d'eau;

b — du côté du ruisseau, deux murs en aile affectant en plan la forme d'un quart de cercle et dont l'un, celui d'amont, suit l'inclinaison du talus, tandis que l'autre est dérasé horizontalement au niveau du contrehalage et se raccorde avec le bajoyer de gauche de l'ouvrage de décharge.

Il est fermé, vers le ruisseau, par une ventelle en bois avec cadre en fer, glissière en fonte et cric en fer de la force de 700 kilog., qui aura ordinairement à supporter

une pression du réservoir vers le canal, mais qui, néanmoins, dans certaines circonstances telles que la vidange du bassin secondaire, pourra avoir à résister à un effort de direction contraire et dont le seuil et les glissières sont disposés dans ce but.

On vérifiera facilement :

1° qu'en supposant la ventelle entièrement levée, il suffit, soit d'une dénivellation constante de moins de 0m,001, soit d'une dénivellation de 0m,04 pendant 4 heures environ par jour, pour fournir le volume de 5.800 mètres cubes jugé nécessaire;

2° qu'après un chômage, l'aqueduc pourrait au besoin débiter 325.000 mètres par 24 heures et par conséquent remplir en deux jours la section du canal comprise entre Paroy et Dombasle, en admettant (ce qui ne se fait jamais) que tous les biefs fussent vidés à la fois.

Des rainures à poutrelles sont pratiquées dans les murs en aile d'amont pour y établir au besoin un barrage et isoler la ventelle et l'aqueduc.

L'ouvrage de décharge, spécialement destiné à écouler le trop-plein ou à vider le réservoir, est formé :

— de deux bajoyers verticaux présentant chacun en plan un alignement droit de 2m,90 de longueur et deux quarts de cercle de 3m,80 de rayon, et munis, vers l'origine de la partie droite, de rainures à poutrelles;

— d'un radier maçonné se rattachant aux fondations des bajoyers;

— enfin d'un vannage placé vers le milieu de l'alignement droit.

Les bajoyers ont 3m,80 de hauteur et sont dérasés au niveau du contre-halage réglé sur ce point à 1m,10 au-dessus de la tenue d'eau du bief n° 16 tendue à 2 mètres.

Le radier est arasé à 1 mètre en contre-bas de celui de la bonde de fond ou à 0m,70 au-dessous du plafond du bief; il comporte, au droit du vannage, un seuil en pierre de

taille, et, à son extrémité, un garde-radier appareillé en plate-bande qui est en saillie de $0^m,25$ de manière à ménager un matelas d'eau en arrière des vannes.

Le vannage a $4^m,50$ de largeur entre les bajoyers. — Il est en bois et comprend :

1° à son sommet, une partie fixe et pleine arasée à $0^m,15$ en contre-haut du niveau du bief n° 16, soit à $0^m,95$ en contre-bas du contre-halage ;

2° à sa partie inférieure, trois vannes de $1^m,33$ de largeur libre et de $1^m,15$ de hauteur, manœuvrées par des crics en fer de 2.250 kilog. de force auxquels on accède au moyen d'une passerelle de service de 1 mètre de largeur placée à l'aval.

La partie fixe du vantail et les ventelles portent sur une carcasse solide en charpente encastrée dans les bajoyers.

Le relief de $0^m,15$ attribué à la crête du vantail sur le niveau du bief a pour objet de permettre, d'une part, d'établir dans le bassin secondaire la charge nécessaire au débit d'alimentation par l'ouvrage de prise d'eau et, d'autre part, d'emmagasiner les eaux que les vagues jettent pardessus le déversoir.

La revanche conservée entre cette crête et le contre-halage est destinée à assurer l'écoulement du trop plein du réservoir par-dessus la crête du vannage sans danger pour le canal, soit lorsque le déversoir commence à débiter et que les ventelles de décharge ne sont pas encore levées, soit au contraire lorsque le débit du déversoir est sur le point de cesser et que le garde ferme les orifices de décharge afin d'éviter la vidange totale ou partielle de la chambre d'emprunt. La lame déversante ne dépassera jamais $0^m,55$ pour le débit maximum de 3 mètres cubes par seconde et restera ainsi à $0^m,40$ au moins en contre-bas de la digue de contre-halage.

Un dispositif de barrage à poutrelles est réservé en amont du vannage pour en permettre la réparation.

Le ruisseau de fuite est perreyé aux abords de l'ouvrage.

Tous les parements de l'ouvrage de prise d'eau et de l'ouvrage de décharge sont demi-smillés. On y a employé aussi peu de pierre de taille que possible.

CHAPITRE V.

Renseignements sur la marche générale des travaux et sur certains détails de construction.

Mode d'exécution. — Le projet ayant été approuvé par décision ministérielle du 6 octobre 1874 et les premiers crédits ayant été ouverts sur l'exercice 1875, les travaux ont été adjugés le 24 mai 1875 au profit de deux entrepreneurs moyennant un rabais de 3 p. 100 sur les prix du bordereau.

Mais, dès le début, les adjudicataires se sont effrayés des difficultés incontestables qu'ils rencontraient dans les déblais vaseux du fond de l'étang ; ils ont abandonné leurs chantiers le 24 mai 1876.

Après l'accomplissement des formalités réglementaires, une régie a été organisée à leur compte par arrêté préfectoral, confirmée par décision ministérielle du 14 juillet 1876 et maintenue par des décisions ultérieures jusqu'à l'achèvement du réservoir.

Plan de campagne primitif. — Le plan de campagne primitif que nous nous étions proposé de suivre consistait :

— à faire à peu près exclusivement les installations préparatoires en 1875 ;

— à enlever rapidement, dès le commencement de 1876, les fondations du déversoir, de la bonde de fond et de l'ouvrage de décharge, ainsi que l'ouverture de la rigole de vidange de l'étang, pour y jeter le produit du ruisseau

de Paroy ; puis à exécuter la même année tous les terrassements de la digue en préparant la fondation du mur de garde, et à continuer en même temps les ouvrages d'art ;

— à faire une mise en eau provisoire, totale ou partielle, durant l'hiver de 1876-1877, afin de provoquer un tassement bien complet de la levée et d'éviter ainsi tout accident ultérieur dans le revêtement ;

— à achever les ouvrages d'art en 1877 et à établir en même temps le revêtement maçonné ;

— enfin à mettre définitivement le réservoir en eau pendant l'hiver de 1877-1878.

Marche effective des travaux. — Malheureusement la défaillance des adjudicataires, le discrédit que leur départ a jeté sur l'entreprise, la difficulté qui en est résultée pour nous de recruter des tâcherons et des ouvriers, les embarras inhérents à la régie, l'éloignement des chantiers relativement aux centres de population voisins, le défaut absolu de ressources locales tant pour l'achat, l'entretien ou la location du matériel que pour le logement et l'alimentation du personnel des ateliers, enfin la mauvaise nature du sol à l'emplacement de la digue, nous ont empêché de réaliser complètement notre programme.

Les remblais de la digue, notamment, n'ont pu être achevés qu'en 1877 et, pour ne pas retarder d'une année le remplissage et l'utilisation de la réserve, il a fallu commencer immédiatement le revêtement et se priver du bénéfice d'une mise en eau provisoire.

Nous y avons obvié dans la mesure du possible en arrosant incessament les remblais à l'aide d'une pompe foulante susceptible de débiter en moyenne 12 litres par minute et en apportant un soin extrême au corroyage de ces remblais.

Nous sommes d'ailleurs resté fidèle à la partie essentielle de notre programme qui consistait à ne pas commencer les maçonneries du mur de garde et du revêtement avant l'achèvement complet des terrassements, pour éviter les

dislocations qui se seraient certainement produites dans ces maçonneries à raison de la nature du sous-sol, au fur et à mesure que la hauteur de la levée se serait accrue.

L'expérience a démontré l'utilité de cette précaution : car, dans toute la partie basse de l'étang, le pied de la levée n'a cessé de s'avancer, durant l'exécution des remblais, de quantités variables qui se sont élevées à $0^m,15$ sur certains points ; les mouvements ont d'ailleurs cessé, lorsque la digue a eu atteint son niveau supérieur.

La marche effective des travaux a été en définitive la suivante :

— en 1875, installations ;

— en 1876, fondation des ouvrages d'art ; déblais vaseux à l'emplacement de la digue et du mur de garde ; préparation de la fondation de ce mur dans la partie basse de l'étang et, à cet effet, remplacement du terrain naturel par du sable pilonné en contre-bas du niveau inférieur assigné au patin en béton ; enfin, remblai jusqu'à la cote du sol même à l'emplacement de la fouille du mur de garde qui ne pouvait être maintenue ouverte pendant l'exécution de la levée ;

— en 1877, achèvement des ouvrages d'art, remblais de la digue ; construction du mur de garde, des 2 murettes inférieures et des 2 risbermes, mise en eau partielle ;

— au commencement de 1878, achèvement du revêtement maçonné et mise en eau définitive.

Mode de transport des remblais de la digue. — Les terres marneuses empruntées sur les deux rives du réservoir pour constituer la masse de la digue étaient transportées en tombereau.

Les terres argilo-sablonneuses prises au delà du Sanon pour former la partie antérieure de la levée étaient transportées jusqu'au pied de la rampe du pont suspendu de Paroy sur le canal par une voie ferrée de $0^m,70$ d'écartement et 700 mètres de longueur que nous avions établie

dans des terrains occupés temporairement à cet effet. Elles étaient reprises ensuite en tombereau et transportées ainsi à pied d'œuvre.

Tous les remblais étaient donc amenés par voitures et subissaient de chef un premier corroyage; on les régalait autant que possible par couches uniformes de 0m,25 d'épaisseur.

Corroyage par un rouleau spécial. — Ces remblais subissaient ensuite un second corroyage beaucoup plus énergique au moyen d'un rouleau composé comme le montrent les figures 2 à 5, Planche 5 :

— de deux séries de disques en fonte de 0m,60 de diamètre, 0m,05 d'épaisseur et 0m,122 d'écartement, montés sur deux axes distincts et se recoupant de 0m,08 de manière à éviter l'engorgement ;

— d'une caisse supérieure carrée de 1 mètre de côté et de 30 centimètres de profondeur destinée à recevoir une surcharge

— enfin, d'un cadre circulaire en fer de 1m,60 de diamètre portant la flèche de traction et permettant de faire tourner l'attelage et de changer ainsi le sens de la marche sans retourner le rouleau lorsqu'il était arrivé à l'extrémité de sa course.

Cet appareil imité de celui qui avait été mis en usage à Mittersheim en différait par l'addition fort utile du dispositif de retournement de l'attelage et par quelques améliorations de détail dont l'expérience avait révélé la nécessité.

Il pesait à vide 1300 kilogrammes.

La surchage s'élevait à 800 kilogrammes.

Il était attelé de 4 chevaux ; on le faisait en général passer 4 fois en le chargeant de plus en plus.

Ce corroyage a été appliqué à 26.000 mètres cubes de terre et a coûté environ 0f,07 par mètre cube.

Nous rappelons du reste que les terres argilo-sablonneuses

étaient additionnées de chaux en poudre à raison de 10 litres en moyenne par mètre cube de corroi.

Pilonnage. — Les parties de la digue qui ne pouvaient être atteintes par le rouleau et notamment les remblais contre les ouvrages d'art ont été pilonnées au moyen de dames en fonte pesant 17 kilogrammes (Voir figure 6, planche 5).

Ces dames, grâce à leur forme, ne s'encrassaient jamais et nous ont rendu d'excellents services.

Nous en avons depuis répandu l'usage sur tous nos autres chantiers.

Nature des matériaux employés aux ouvrages d'art. — Les moellons employés aux maçonneries ont été tirés des meilleurs bancs du muschelkalk à Gondrexange et de la roche rouge (oolithe inférieure) à Liverdun et à Villey-le-Sec sur la Moselle.

La pierre de taille provenait du gisement de grès bigarré d'Arschwiller.

La *chaux*, éminemment hydraulique, était faite à Serres avec le calcaire bleu du lias à gryphées arquées.

Le sable et le gravier étaient empruntés soit à la Meurthe, soit à la Moselle.

Mode d'approche des matériaux. — Une partie des moellons destinés au mur de garde et à la partie inférieure du revêtement avaient été amenés au fond de l'étang et disposés en cordon à pied d'œuvre, le long de la digue, avant l'exécution de cette levée.

Le surplus des matériaux du revêtement a été transporté au lieu d'emploi par une voie ferrée qui courait sur le sommet de la digue et aboutissait aux broyeurs à mortier, au chantier de fabrication du béton et aux points de débarquement et de dépôt des moellons et des pierres de taille; on les distribuait aux ateliers au moyen de couloirs en bois.

CHAPITRE VI.

Dépenses.

Importance des terrassements et des maçonneries. — Le cube total des déblais s'est élevé à 42.400 mètres cubes, savoir :

	m. c.
— déblais vaseux à l'emplacement de la digue.	9.400
— déblais d'emprunt pour la digue.	29.000
— autre déblais.	4.000
Total pareil.	42.400

Les déblais employés en remblais corroyés n'ont pas foisonné et ont repris à peu près leur volume primitif.

Le cube total des maçonneries à mortier s'est élevé à 4.100 mètres cubes, savoir :

	m. c.
— déversoir et bonde de fond.	800
— ouvrage répartiteur.	300
— mur de garde et revêtement de la digue.	3,000
Total pareil.	4.100

La surface vue du revêtement de la digue, non compris le parapet, est de 3.900 mètres carrés.

Prix d'application. — Les principaux prix du bordereau étaient les suivants :

1° TERRASSEMENTS.

	fr.
Le mètre cube de déblais de toute nature pour fouille, charge, décharge et régalage.	0,70
Plus-value par mètre cube de déblai de fondation.	0,40
Le transport à la brouette de 1 mètre cube de déblai par décamètre.	0,09

	fr.
Le transport au tombereau de 1 mètre cube de déblai pour le premier hectomètre	0,47
Pour chaque hectomètre suivant	0,13

2° OUVRAGES D'ART.

Le mètre cube de béton formé de deux parties de mortier et de trois parties de gravier	16,00
Le mètre cube de maçonnerie ordinaire	15,50
Le mètre cube de maçonnerie en moellons demi-smillés	19,30
Le mètre cube de maçonnerie en moellons smillés	22,60
Le mètre cube de maçonnerie en moellons piqués	32,10
Le mètre cube de pierre de taille (non compris la taille des parements vus)	60,60

Les adjudicataires avaient consenti un rabais de 3 p. 100 sur ces prix.

DÉPENSES. — A. *Dépenses d'acquisitions de terrains* (*). — Les dépenses d'acquisitions de terrains se sont élevées en nombre rond à 340.000 francs, savoir :

1° *Achat de l'étang* de Paroy et de ses dépendances *comprenant :*

— l'étang proprement dit, mis alternativement en terrage pendant un an et en eau pendant 2 ans et présentant une surface de 31 hectares environ ;

— des terrains presque exclusivement en nature de pré d'une superficie de 16 hectares environ ;

— l'ancienne digue ;

— un moulin bien outillé ;

	fr. c.
— une petite maison de garde	200.000,00
2° Achat de 19 hectares, 85 ares environ de prés au pourtour de l'étang au prix de 48f,75 l'are	96.768,75
A reporter	296.768,85

(*) L'administration a limité ses acquisitions à une courbe de niveau située à 0m,30 au-dessus de la retenue normale.

Report.	296.768,75
3° Achat de 15 hectares, 50 ares environ de terre au pourtour de l'étang au prix moyen de 24f,75 l'are.	fr c. 38.362,50
4° Indemnités accessoires diverses environ.	5.000,00
Total.	340.131,25
Soit.	340.000,00

B. *Dépenses de travaux.* — Les dépenses des travaux se sont élevées en nombre rond à 195,000 francs, savoir :

	fr.	fr.
1° Ouvrages à l'entreprise (rabais déduit). . .	180.000	195.000
2° Dépenses sur la somme à valoir.	15.000	

Les dépenses à l'entreprise peuvent se diviser comme il suit :

		fr.	fr.
1° Terrassements de la digue et fouilles de fondations des ouvrages d'art.			83.000
2° Ouvrages d'art.	Mur de garde.	16.200	93.500
	Revêtement de la digue. . .	43.800	
	Déversoir et bonde de fond.	22.000	
	Ouvrage répartiteur	11.500	
3° Travaux accessoires			3.500
Total.			180.000

C. *Dépense totale.* — La dépense totale s'est donc élevée en nombre rond à 535.000 francs.

Prix de revient divers. — Les prix de revient les plus intéressants ont été les suivants :

	fr.
Prix moyen du mètre cube de terrassement de la digue y compris le corroyage, le pilonnage, les dressements de surface, les semis, etc., ci.	1,80
Prix moyen du mètre carré de revêtement de la digue. . .	9,00
Prix moyen du mètre cube de maçonnerie, tant pour ce	

revêtement que pour le mur de garde et les ouvrages d'art.	fr. 22,60
Dépense totale par mètre cube de capacité du réservoir.	0,30
Savoir : Acquisitions de terrains.	0,20
Travaux.	0,10
Total pareil.	0,30

Ce dernier chiffre ne paraîtra pas exagéré si l'on a égard, d'une part au cube relativement restreint de la réserve, et d'autre part à la bonne situation du réservoir au point de vue de l'alimentation de la partie restée française du versant de la Meurthe.

CONCLUSIONS.

Tels sont les renseignements qu'il nous a paru utile de donner sur la construction du réservoir de Paroy aujourd'hui complètement achevé et mis en eau.

Nous croyons devoir, en terminant cette notice, rendre hommage au zèle et à l'intelligence dont M. le conducteur Monin, chargé de la surveillance des travaux, a fait preuve dans l'accomplissement de la lourde tâche que lui a imposée la régie instituée au compte des entrepreneurs.

Nancy, le 20 septembre 1878.

ANNEXE.

État des recettes, des dépenses et du régime de la réserve de Paroy.

Objet et formation de l'état ci-après.

L'état ci-après a pour objet d'indiquer :

1° Quelles seront les ressources fournies par le bassin de l'étang de Paroy pour l'alimentation du canal;

2° Quelles seront les dépenses résultant soit de l'évaporation à la surface du réservoir, soit du déversement du trop-plein, soit des prises d'eau pour l'alimentation;

3° Comment les ressources couvriront les dépenses et quel sera le régime de la réserve en admettant que les conditions climatériques de 1857 à 1860 (*) viennent à se reproduire et en supposant le mouillage du canal porté à 2 mètres.

Cet état a été formé comme il suit :

C. 1. — Cette colonne contient l'indication des semaines.

C. 2. — Elle indique pour chaque semaine le volume d'eau que le bassin envoie dans le réservoir, en admettant qu'il fournisse autant par hectare que le bassin de l'étang de Gondrexange; les chiffres qui y sont inscrits ont donc été déduits des produits constatés à Gondrexange en 1857, 1858, 1859 et 1860, en les réduisant dans la proportion de 4.500 (surface du bassin de Gondrexange) à 1.190 (surface du bassin de Paroy).

C. 3. — Les chiffres portés à la colonne 3 représentent les prises d'eau à faire dans le réservoir pour l'alimentation du canal, prises d'eau évaluées à 5.800 mètres cubes par jour, comme l'indique la notice.

C. 4. — La colonne 4 donne les pertes d'eau résultant de l'évaporation superficielle de l'étang; ces pertes ont été évaluées en

(*) Nota. — Cette période d'années a été choisie, d'une part, parce que les années 1857, 1858 et 1859 constituent une période de sécheresse exceptionnelle, d'autre part parce qu'on a pu rétablir pour cette période les attachements journaliers tenus à Gondrexange.

multipliant pour chaque semaine la surface moyenne du réservoir pendant cette période de temps par la hauteur d'eau évaporée à Gondrexange.

C. 5. — La colonne 5 donne les pertes par déversement, lorsque le niveau de la retenue atteint la limite réglementaire. — Ces pertes se calculent en ajoutant au cube de la réserve, au commencement de chaque semaine, l'excès des recettes sur les dépenses par évaporation et par alimentation pendant cette période, et retranchant ensuite du nombre ainsi obtenu toute la partie qui excède la capacité maxima du réservoir.

C. 6. — Cette colonne donne le total des dépenses, c'est-à-dire des chiffres inscrits aux colonnes 3, 4 et 5.

C. 7 et 8. — La colonne 7 et la colonne 8 donnent, l'une l'excès des recettes sur les dépenses, c'est-à-dire l'augmentation du cube de la réserve, et l'autre l'excès des dépenses sur les recettes, c'est-à-dire la diminution de cube de la réserve.

C. 9. — Cette colonne indique quel est, au commencement de chaque semaine, le cube de la réserve, en admettant que le réservoir soit plein à l'origine de l'année 1857 (hypothèse parfaitement rationnelle, puisqu'il suffit, comme l'indique le tableau pour la fin de 1859 et de 1860, de quelques mois de pluies pour le remplir).

Un chiffre quelconque de cette colonne s'obtient, soit en ajoutant au chiffre immédiatement supérieur l'excès des ressources sur les dépenses, soit en en retranchant l'excès des dépenses sur les recettes.

L'état ainsi formé prouve que, même pendant une période exceptionnelle de sécheresse, telle que celle de 1856 à 1860, la réserve ne s'épuiserait pas; qu'au mois de novembre 1858 seulement elle serait descendue à 120.000 mètres cubes, chiffre correspondant au cas où la retenue est de niveau avec le canal et où elle ne peut plus être utilisée pour l'alimentation normale de la voie navigable; mais qu'elle se serait relevée aussitôt, pour se remplir dès les premiers mois de 1860.

Année 1857.

INDICATION des semaines.	RECETTES (volume d'eau fourni par le bassin).	DÉPENSES.				AUGMENTATION du cube de la réserve.	DIMINUTION du cube de la réserve.	CUBE de la réserve au commencement de chaque semaine.
		Alimentation du canal.	Évaporation à la surface du réservoir.	Trop plein.	Total.			
	mèt. c.	mèt. c.	mèt. c.	mèt. c.	mèt. c.	mèt. c.	mèt. c.	mèt. c.
Du 1er janv. au 5 janv.	58.194	29.000	240	28.954	58.194	»	»	1.710.800
— 5 — 12 —	63.793	40.600	335	21.858	62.793	»	»	1.710.800
— 12 — 19 —	191.940	40.600	335	151.005	191.940	»	»	1.710.800
— 9 — 26 —	57.846	40.600	335	16.911	57.846	»	»	1.710.800
— 26 — 2 févr.	74.017	40.600	335	33.082	74.017	»	»	1.710.800
— 2 févr. au 9 —	58.602	40.600	335	17.727	58.662	»	«	1.710.800
— 9 — 16 —	50.168	40.600	335	9.233	50 168	»	»	1.710.800
— 16 — 23 —	60,142	40.600	335	19.207	60.142	»	»	1.710.800
— 23 — 2 mars	65.070	40.600	335	24.135	65.070	»	»	1.710.800
— 2 mars au 9 —	65.080	40.600	515	24.965	66.080	»	»	1.710.800
— 9 — 16 —	122.184	40.600	515	81.069	122.184	»	»	1.710.800
— 16 — 23 —	125.307	40.600	515	84.192	125.307	»	«	1.710.800
— 23 — 1er avril	85.951	52.200	635	33.116	85.951	»	»	1.710.800
— 1er avril au 6 —	24.166	29.000	850	»	29.850	»	5.684	1.710.800
— 6 — 13 —	27.627	40 600	1.100	»	41.700	»	14.073	1.705.116
— 13 — 19 —	56.443	34 800	1.090	796	36.686	19.757	»	1.691.043
— 19 — 27 —	22.887	46.400	1.175	»	47.575	»	24.688	1.710.800
— 27 — 4 mai.	22.952	40.600	1.075	»	41.675	»	18.723	1.686.112
— 4 mai au 11 —	22.132	40 600	10.210	»	50.810	»	28 678	1.667.389
— 11 — 18 —	29 838	40.600	10.090	»	50.690	»	20.852	638.711
— 18 — 25 —	8.811	40.600	9.950	»	50,550	»	42.739	1.617.859
— 25 — 1er juin.	122.400	40.600	9.700	»	50,300	72.100	»	1.575.120
— 1er juin au 8 —	80.413	40.600	12.940	»	53,540	26.873	»	1.647.220
— 8 — 15 —	26.983	40.600	13.130	»	53.730	»	26.747	1.674.093
— 15 — 22 —	38.275	40.600	12.940	»	53,540	»	15.265	1.647.346
— 22 — 1er juill	13.263	52.200	16.455	»	68.655	»	55.392	1.632.081
— 1er juill. au 6 —	2.551	29.000	7.975	»	36.975	»	34.424	1.576.689
— 6 — 13 —	»	40 600	11.335	»	51.935	»	51.935	1.542.265
— 13 — 20 —	»	40.600	10.965	»	51.565	»	51.565	1.490.330
— 20 — 27 —	»	40.600	10.600	»	51.200	»	51.200	1.438.765
— 27 — 3 août.	»	40.600	10.210	»	50.810	»	50.810	1.387.565
— 3 août au 17 —	»	81 200	15.670	»	96.870	»	96.870	1.336.755
— 17 — 24 —	56.774	40.600	7.290	»	47.890	8.884	»	1.239.885
— 24 — 31 —	»	40 600	7.350	»	47.950	»	47 950	1.248.769
— 31 — 7 sept.	»	40.600	4.610	»	45.210	»	45.210	1.200.819
— 7 sept. au 14 —	19.816	40.600	4.435	»	45.035	»	25.219	1.155.609
— 14 — 21 —	24 902	40.600	4.330	»	44.930	»	20.028	1.130.390
— 21 — 30 —	4.743	40.600	4.260	»	44.860	»	40.117	1.110.362
— 30 — 5 oct.	298	40.600	4.110	»	44.710	»	40.412	1.070.245
— 5 oct. au 12 —	11.616	40 600	1.725	»	42.325	»	29.709	1.029.833
— 12 — 19 —	16.641	40.600	1.680	»	42.280	»	25.639	1.000.124
— 19 — 26 —	40.174	40.600	1.640	»	42.240	»	2.066	974.485
— 26 — 2 nov.	27.554	40.600	1.635	»	42.235	»	14.681	972.419
— 2 nov. au 9 —	4 292	40.600	1.145	»	41.745	»	37 453	957.738
— 9 — 16 —	»	40.600	1.090	»	41.690	»	41.690	920.285
— 16 — 23 —	3.779	40.600	1 050	»	41.650	»	37.871	878.595
— 23 — 30 —	26.155	40.600	1.015	»	41.615	»	15.460	840.724
— 30 — 7 déc.	21.839	40.600	615	»	41.215	»	19.376	825.264
— 7 déc. au 14 —	24 236	40.600	600	»	41.200	»	16.964	805.888
— 14 — 21 —	9.614	40.600	590	»	41.190	»	31 576	788.924
— 21 — 28 —	12.288	40.600	560	»	41.160	»	28.872	757.348
	1.881.756	2.099 600	222.290	546.250	2.868.140	127.614	1.109.938	

(1) Cube maximum de la réserve.

(2) Cube maximum de la réserve.

Année 1858.

INDICATION des semaines.	RECETTES (volume d'eau fourni par le bassin).	DÉPENSES. Alimentation du canal.	DÉPENSES. Évaporation à la surface du réservoir.	DÉPENSES. Trop plein.	DÉPENSES. Total.	AUGMENTATION du cube de la réserve	DIMINUTION du cube de la réserve.	CUBE de la réserve au commencement de chaque semaine.	OBSERVATIONS.
1857 1858	mèt. c.	mèt. c.	mèt. c.	mèt. c.	mèt. c.	mèt. c.	mèt. c.	mèt. c.	
28 déc. au 4 janv.	12.869	40.600	540	»	41.140	»	28 071	728.476	
4 janv. au 11 —	15.475	40.600	520	»	41.120	»	25.645	700.405	
— 18 —	»	40.600	500	»	41.100	»	41.100	674.760	
— 25 —	49.505	40.600	470	»	41.070	8.435	»	633.660	
— 1er févr.	»	40.600	475	»	41.075	»	41.075	642.095	
févr. au 8 —	63.321	40.600	385	»	40.985	22.339	«	601.020	
— 15 —	45.382	40.600	400	»	41.000	4.382	»	623.359	
— 22 —	26.058	40.600	400	»	41.100	»	14.942	627.741	
— 1er mars	13.453	40.600	390	»	40.990	»	27.557	612.799	
1er mars au 8 —	»	40.600	490	»	41.090	»	41.090	585.262	
— 15 —	34.123	40.600	495	»	41.095	»	6.932	544.172	
— 22 —	174.435	40.600	450	»	41.050	133.385	»	537.240	
— 29 —	125.142	40 600	560	»	41.160	83.982	»	670.625	
— 5 avril.	16.271	40.600	635	»	41.235	»	24:964	754.607	
5 avr. au 12 —	246.240	40.600	615	»	41.215	205.025	»	729.643	
12 — 19 —	154.852	40.600	785	»	41.385	113.467	»	934.668	
19 — 26 —	36.123	40.600	880	»	41.480	»	5.357	1.048.135	
26 — 3 mai.	5 939	40.600	890	»	41.490	»	35.551	1.042.778	
3 mai au 10 —	14.128	40.600	1.760	»	42.360	»	27.232	1.007.227	
10 — 17 —	64.866	40.600	1.720	»	42.320	22.546	»	979.995	
17 — 24 —	39.858	40.600	1.760	»	42.360	»	2.502	1.002.541	
24 — 31 —	79 583	40.600	1.760	»	42.360	37.223	»	1.000.039	
31 — 7 juin.	23.334	40.600	8.136	»	48.735	»	25.401	1 037.262	
7 juin au 14 —	532	40.600	7.880	»	48.480	»	47.948	1:011.861	
— 21 —	»	40.600	7.545	»	48.145	»	48.145	963.913	
— 28 —	»	40.600	7.155	»	47.755	»	47.755	915.768	
— 5 juill.	»	40.600	6.780	»	47.380	»	47.380	868.013	
5 juill. au 12 —	»	40.600	6 430	»	47.030	»	47 030	820.133	
— 19 —	6.338	40.600	6.075	»	46.675	»	40.937	773.603	
— 26 —	13.584	40.600	5.760	»	46.360	»	32.776	732.666	
— 2 août.	17.936	40.600	5.480	»	46.080	»	28.144	699.890	
2 août au 9 —	14.174	40.600	5.250	»	45.850	»	31.676	671.756	
— 16 —	»	40.600	5.055	»	45.655	»	45 655	640.070	
— 23 —	5.630	40.600	4.700	»	45.300	»	39.670	594.415	
— 30 —	19.375	40.600	4 315	»	44.915	»	25.540	554.745	
— 6 sept.	»	40.600	2.650	»	43.250	»	43.250	529.205	
sept. au 13 —	6.730	40.600	2.440	»	43.040	»	36.310	485.955	
— 20 —	»	40.600	2.260	»	42.860	»	42.860	449.645	
— 27 —	3.790	40.600	2.020	»	42.620	»	38.830	406.785	
— 4 oct.	12.510	40 600	1.390	»	41.990	»	29 480	367.955	
4 oct. au 11 —	»	40.600	720	»	41.320	»	41 320	338.475	
— 18 —	»	40.600	640	»	41.240	»	41.240	297.155	
— 25 —	»	40.600	545	»	41.145	»	41.145	255.915	
— 1er nov.	14.194	40.600	530	»	41.130	»	26,936	214.770	
nov. au 8 —	758	40.600	500	»	41.100	»	40.342	187.834	
— 15 —	7.556	34.568	480	»	35.048	»	27.492	147.492	
— 22 —	102 524	40.600	470	»	41.070	81.454	»	120.000	(1)
— 29 —	101.636	40.600	630	»	41.230	60.406	»	201.456	
— 6 déc.	63.811	40.600	170	»	40.770	23.041	»	261.860	
6 déc. au 13 —	60.854	40.600	190	»	40.790	20.064	»	284.901	
13 — 20 —	32.206	40.600	200	»	40.800	»	8.594	304.965	
20 — 27 —	121.510	40 600	190	»	40.790	80.720	»	296.371	
27 — 3 janv. 1859	401.801	40.600	230	»	40.830	361 060	»	377.091	
	2.247.699	2.145.768	113.695	»	2.259.463	1.257.529	1.247.870		

(1) Volume correspondant au cas où la retenue est de niveau avec le canal et cesse de servir à l'alimentation normale.

Année 1859.

INDICATION des semaines.	RECETTES (volume d'eau fourni par le bassin).	DÉPENSES. Alimentation du canal	DÉPENSES. Évaporation à la surface du réservoir.	DÉPENSES. Trop plein.	DÉPENSES. Total.	AUGMENTATION du cube de la réserve.	DIMINUTION du cube de la réserve.	CUBE de la réserve au commencement de chaque semaine.
	mèt. c.	mèt. c.	mèt. c.	mèt. c.	mèt. c.	mèt. c.	mèt. c.	mèt. c.
Du 3 janv. au 10 janv.	73.690	40.600	825	»	41.425	32.265	»	738.15
— 10 — 17 —	29.510	40.600	845	»	41.445	»	11.935	770.47
— 17 — 24 —	14.052	40.600	835	»	41.435	»	27.383	758.4
— 24 — 31 —	40.744	40.600	825	»	41.425	»	681	731.0
— 31 — 7 févr.	221.356	40.600	610	»	41.210	180.146	»	730.4
— 7 févr. au 14 —	74.826	40.600	720	»	41 320	33.506	»	910.5
— 14 — 21 —	104.119	40.600	730	»	41.330	62.789	»	944.0
— 21 — 28 —	39.397	40.600	770	»	41.370	»	1.973	1.006.8
— 28 — 7 mars	17.375	40.600	3.575	»	44.175	»	26.800	1.004.87
— 7 mars au 14 —	24.184	40.600	3.445	»	44.045	»	19.861	978.07
— 14 — 21 —	5.601	40.600	3 380	»	43.980	»	38.381	958.9
— 21 — 28 —	10.619	40.600	3.340	»	43.940	»	30.321	919.8
— 28 — 4 avril	61.935	40.600	3.300	»	43.900	18.035	»	889.54
— 4 avril au 11 —	32.270	40.600	3.680	»	44.280	»	12.010	907.54
— 11 — 18 —	81.270	40.600	3.530	»	44.130	37.140	»	895.53
— 18 — 25 —	64.627	40.600	3.740	»	44.340	20.287	»	932.67
— 25 — 2 mai.	85.113	40.600	3.750	»	44.350	40.763	»	952.96
— 2 mai au 9 —	77.210	40.600	8.475	»	49.075	28.135	»	993.73
— 9 — 16 —	»	40.600	8.640	»	49.240	»	49.440	1.031.36
— 16 — 23 —	202.728	40.600	8.600	»	49.200	153.528	»	972.1
— 23 — 30 —	17.703	40 600	9.450	»	50.050	»	32.347	1.125.95
— 30 — 6 juin.	21.806	40.600	12.930	»	53.530	»	31.724	1.093.60
— 6 juin au 13 —	20 433	40.600	12.775	»	53.375	»	32 942	1 061 8
— 13 — 20 —	37.061	40.600	12.560	»	53.160	»	16.099	1.028.9
— 20 — 27 —	32.484	40.600	12.475	»	53.075	»	20.591	1.012 8
— 27 — 4 juill.	»	40.600	12.335	»	52.935	»	52.935	992.3
— 4 juill. au 11 —	26.953	40.600	6.210	»	46 810	»	19 857	939.3
— 11 — 18 —	4.402	40 600	6.120	»	46.720	»	42.318	919.4
— 18 — 25 —	»	40 600	5.880	»	46.480	»	46.480	877.1
— 25 — 1er août	»	40.600	5.640	»	46.240	»	46.240	830.6
— 1er août au 8 —	23.128	40.600	11.090	»	51.690	»	28.562	784.4
— 8 — 15 —	»	40 600	11.000	»	51.600	»	51.600	735.8
— 15 — 22 —	»	40.600	10.590	»	51.190	»	51.190	704.5
— 22 — 29 —	»	40.600	10.080	»	50.680	»	50.680	653.0
— 29 — 5 sept.	»	40.600	9.450	»	50.050	»	50 050	602.3
— 5 sept. au 12 —	»	40.600	3.530	»	44.130	»	48.130	552.3
— 12 — 19 —	802	40.600	3 330	»	43.930	»	43.128	508.3
— 19 — 26 —	59.050	40.600	3.140	»	43.740	15.310	»	465.0
— 26 — 3 oct.	6.242	40.600	3.200	»	43.800	»	37.558	480 3
— 3 oct. au 10 —	29.092	40.600	3.210	»	43.810	»	14 718	442.8
— 10 — 17 —	10.439	40.600	3.135	»	43.755	»	33.316	528.1
— 17 — 24 —	8.649	40.600	2.940	»	43.540	»	34.891	394.7
— 24 — 31 —	25.923	40.600	2.760	»	43.360	»	17.437	359.9
— 31 — 7 nov.	52.091	40.600	2.785	»	43.385	8.706	»	342.4
— 7 nov. au 14 —	56.341	40.600	2.900	»	43.500	12.841	»	351.17
— 14 — 21 —	35.905	40.600	3.000	»	43.600	»	7.695	364.01
— 21 — 28 —	2.053	40.600	2.900	»	43.500	»	41.447	356.3
— 28 — 5 déc.	162.817	40.600	1.650	»	42.250	120.567	»	314.87
— 5 déc. au 12 —	100.615	40.600	1.320	»	41 920	58.695	»	435 4
— 12 — 19 —	6.184	40.600	1.450	»	42.050	»	35.866	494.13
— 19 — 26 —	»	40.600	1.365	»	41.965	»	41.965	458.9
— 26 — 2 janv.	212,386	40.600	1.275	»	41.875	170.511	»	416.30
	2.213.185	2.111.200	256,110	»	2.367.310	891.224	1.148.551	

Année 1860.

INDICATION des semaines.	RECETTES (volume d'eau fourni par le bassin).	DÉPENSES. Alimentation du canal.	Évaporation à la surface du réservoir.	Trop plein.	Total.	AUGMENTATION du cube de la réserve.	DIMINUTION du cube de la réserve.	CUBE de la réserve au commencement de chaque semaine.	OBSERVATIONS.
	mèt. c.	mèt. c.	mèt. c	mèt. c.	mèt. c.	mèt. c.	mèt. c.	mèt. c.	
2 janv. au 9 janv.	61.886	40.600	1.480	»	42.080	19.806	»	586.815	
9 — 16 —	157.892	40.600	1.560	»	42.160	115.732	»	606.621	
16 — 23 —	75.338	40.600	1.740	»	42.340	32.998	»	722.353	
23 — 30 —	481.869	40.600	1.760	»	42.360	442.509	»	755.351	
30 — 6 févr.	188.624	40.600	2.780	»	43.380	145.244	»	1.197.860	
6 févr. au 13 —	210.470	40 600	3.010	»	43.610	166.860	»	1.343.104	
13 — 20 —	66.936	40.600	3.175	»	43.775	23.161	»	1.509.964	
20 — 27 —	71.795	40.600	3.190	»	43.790	28.005	»	1.533.125	
27 — 5 mars	456 033	40.600	3.220	262.543	306.363	149.670	»	1.561.130	
5 mars au 12 —	104.563	40 600	3 960	60.003	104.563	»	»	1.710.800	
12 — 19 —	198.231	40.600	3.960	153.771	198.331	»	»	1.710.800	
19 — 26 —	430.781	40.600	3 960	386.221	430 781	»	»	1.710.800	(1)
26 — 2 avril.	233.198	40.600	3.960	188.638	233.198	»	»	1.710.800	
2 avril au 9 —	102	40.600	6.675	»	47.275	»	47.173	1.710-800	
9 — 16 —	34.089	40.600	6.550	»	47.150	»	13.061	1.663.627	
16 — 23 —	19.681	40.600	6.500	»	47.100	»	27.419	1.650.566	
23 — 30 —	23.133	40 600	6.500	»	47.100	»	24.967	1 623.147	
30 — 7 mai.	30.243	40 600	14 500	»	55.100	»	24.857	1.598.180	
7 mai au 14 —	2.966	40.600	14.060	»	54.660	»	54.692	1.573 323	
14 — 21 —	»	40.600	13.800	»	54.400	»	54.400	1.521.631	
21 — 28 —	38.973	40.600	13.600	»	54.200	»	15.227	1 467.231	
28 — 4 juin.	26.814	40.600	13.840	»	54.400	»	27.626	1,442.004	
4 juin au 11 —	1.736	40.600	14.200	»	54.800	»	53.064	1.414.378	
11 — 18 —	26.005	40.600	13.925	»	54.525	»	28 520	1.361.314	
18 — 25 —	26.286	40 600	13.780	»	54.380	»	28.094	1.332 794	
25 — 2 juill.	»	40.600	13.570	»	54.170	»	54.170	1.304.700	
2 juill. au 9 —	34.016	40.600	13.100	»	53.700	»	19 684	1.250.530	
9 — 16 —	6.852	40.600	12.915	»	53.515	»	46.663	1.230.846	
16 — 23 —	6.078	40.600	12.600	»	53.200	»	47.122	1,184.183	
23 — 30 —	»	40.600	12.200	»	52.800	»	52.800	1.137.061	
30 — 6 août.	5.942	40.600	10.085	»	50 685	»	44.743	1.084.261	
6 août au 13 —	42.760	40.600	9.865	»	50.465	»	7.805	1.039.518	
13 — 20 —	31.612	40.600	9.810	»	50.410	»	18.798	1.031.713	
20 — 27 —	25.706	40.600	9.720	»	50.320	»	26.614	1.012.915	
27 — 3 sept.	29.384	40.600	9.540	»	50.140	»	20.756	988.301	
3 sept. au 10 —	64.738	40 600	3 710	»	44.310	20.428	»	967.545	
10 — 17 —	32.508	40.600	3.750	»	44.350	»	11.842	987,973	
17 — 24 —	24.672	40.600	3.740	»	44.340	»	19.668	976.131	
24 — 1er oct.	12.028	40.600	3.640	»	44.240	»	32.212	956.463	
1er oct. au 8 —	24 290	40 600	1.880	»	42.480	»	18.190	924.251	
8 — 15 —	66.288	40.600	1.850	»	42.550	23 838	»	906.061	
15 — 22 —	220.316	40.600	1.920	»	42 520	177.696	»	929 899	
22 — 29 —	247.247	40 600	2.140	»	42.740	204.507	»	1.107.595	
29 — 5 nov.	»	40 600	2.360	»	42.960	42.960	»	1.312.102	
5 nov. au 12 —	8.698	40.600	1 965	»	42 565	»	33.867	1.355.062	
12 — 19 —	»	40 600	1.935	»	42.535	»	42.535	1.321.195	
19 — 26 —	112.839	40.600	1.890	»	42.490	70.349	»	1 278.660	
26 — 3 déc.	89.377	40.600	1.965	»	42.565	46.812	»	1.349.009	
3 déc. au 10 —	6.559	40.600	795	»	41.395	»	34.836	1.395.821	
10 — 17 —	11.082	40.600	785	»	41.385	»	30 302	1.360.985	
17 — 24 —	25.199	40.600	780	»	41.380	»	16.181	1.330.683	
24 — 31 —	123.296	40.600	770	»	41.370	81.926	»	1.314.502	
	4.222.131	2.111.200	324.965	1.051.746	3.487 341	1.792.501	974.888		

(1) Cube maximum de la réserve.

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES

CHRONIQUE.

Février 1880.

N° 13

Rectification au sujet de l'article de M. Malo sur les asphaltes.

A la suite de l'intéressant mémoire qu'il a publié dans les *Annales* (1879, 2e semestre, page 267), M. Malo a reproduit une note que je lui avais adressée sur un procédé pour distinguer le bitume naturel du brai de gaz, qui lui est substitué dans les mastics d'asphalte factice.

Il s'est glissé, dans cette note, un lapsus de nature à tromper les personnes qui seraient tentées d'essayer le procédé. Le réactif à employer n'est pas l'acide sulfurique de Nordhausen fumant, qui attaque les bitumes naturels aussi bien que le brai de gaz ; c'est simplement l'acide sulfurique ordinaire monohydraté, c'est-à-dire dosant de 80 à 82 p. 100 de son poids en acide sulfurique réel.

Des essais faits par M. Deval, conducteur des ponts et chaussées, attaché au laboratoire de la ville de Paris, ont confirmé ceux auxquels je me suis livré de mon côté, et vérifié la méthode que j'ai indiquée.

Il n'est peut-être pas sans intérêt de signaler un autre procédé, d'une application plus simple, qui permet également de faire la distinction entre les deux substances, bien que le résultat soit moins saisissant. Il suffit de faire digérer 10 grammes de matière bitumineuse dans 100 centimètres cubes d'alcool à 36°, et de filtrer après vingt-quatre heures. L'alcool se colore en jaune d'or, si c'est le brai qui a été essayé, et reste incolore ou se colore seulement en jaune paille très clair, si c'est du bitume naturel.

Paris, le 9 février 1880.

DURAND CLAYE.

Pont sur le Severn (Angleterre). — Les travaux du grand viaduc en construction sur le Severn ont été terminés dans le courant du 2ᵉ semestre 1879, et l'ouvrage a été livré à la circulation le 17 octobre de la même année. En raison de ses grandes dimensions et des difficultés qu'on a rencontrées, les détails suivants, empruntés à l'*Engineering*, présenteront peut-être quelque intérêt pour les lecteurs des *Annales*.

Le pont en question a une importance exceptionnelle au point de vue du trafic, parce qu'il réduit d'une manière notable les parcours entre le pays de Galles et Bristol, en donnant également une diminution de trajet vers Londres. En outre, comme il n'existe pas de pont en dessous de Gloucester, c'est-à-dire sur une longueur de 82 kilomètres en amont de l'embouchure de la rivière, et que les communications entre les deux rives n'étaient assurées que par des bacs, il fournit au pays un débouché nouveau et plus commode; il permet enfin de transporter facilement les charbons et minerais de fer à Sharpness, point extrême où les grands vaisseaux puissent remonter.

Sa longueur totale est de 1.268ᵐ,55. La partie métallique se compose de 22 travées dont les dimensions sont les suivantes :

	mètres.		mètres.	
Une de.	40,84	de long et de	4,87	de haut
Deux de	99,66	id.	11,88	id.
Cinq de.	52,12	id.	6,19	id.
Treize de.	40,99	id.	5,10	id.
Un pont tournant de.	60,04	id.	5,89	id.

La partie métallique se prolonge sur la rive nord par un viaduc en maçonnerie de 12 arches. Le pont tournant est sur la rive sud.

Toutes les poutres sont du type bow-string; elles s'appuient sur les quatre cylindres qui constituent les piles pour les grandes travées; les autres portent seulement sur deux cylindres. Les plus longues (99ᵐ,66) ont 11ᵐ,88 de hauteur. Le plancher est formé de feuilles de tôle.

La largeur effective de la rivière, à l'emplacement du pont, est de 1.084ᵐ,44, et la hauteur maxima de ce dernier au-dessus du plein des eaux est de 21ᵐ,336. Les travaux ont été commencés en juin 1875 sur la rive sud, où les fondations présentaient moins de difficultés. Pour les 12 premières piles, l'épaisseur moyenne de sable à traverser avant d'arriver au terrain solide était d'environ 8ᵐ,50. On faisait descendre les cylindres en creusant dans leur intérieur et en les chargeant au sommet. Des dispositions spé-

ciales d'échafaudage les faisaient s'enfoncer bien verticalement et en ligne. Les diamètres de ces cylindres étaient les suivants :

		mètres.	mètres.
Pour les piles	de 1 à 13. .	1,83	
Id.	de 14 à 18. .	2,74 en dessous des basses eaux	et 2,13 au-dessus
Id.	de 19 à 23. .	3,05 id. id.	id. 2,13 id.

Après la douzième pile, il fallut recourir à l'air comprimé.

L'installation des échafaudages pour la fondation des piles et la construction des poutres a présenté les plus grandes difficultés, à cause de la grande amplitude de la marée, de la vitesse du courant et de la nature peu résistante du fond. Après de nombreux efforts inutiles, il fallut enfoncer les pieux d'après la méthode de M. Brunlee, au moyen d'un courant d'eau forcée. Les piles nos 14 et 15 sont celles qui ont causé le plus d'embarras; un certain jour, la force de la marée fut telle qu'elle emporta piles et échafaudages. Les piles de 15 à 20 donnèrent aussi lieu à de sérieux ennuis. Dans cet emplacement, la distance du rocher au niveau de la haute mer était de $21^m,33$ et l'amplitude de la marée de $9^m,15$. On avait dragué le sable de manière à n'en laisser qu'une couche de $3^m,05$ sur laquelle il restait $6^m,10$ d'eau à la basse mer. En cet endroit, la mer monte en 2 heures 1/4 et donne un courant de dix nœuds. On peut, d'après cela, se faire aisément une idée des difficultés qu'il a fallu surmonter. Heureusement, le rocher était recouvert d'un banc d'argile où les pieux ont pu prendre leur appui. L'échafaudage de chaque pile était formidable : il se composait de trois rangées de pieux fortement entretoisés ensemble, avec des brise-lames à chaque extrémité; il s'élevait à $1^m,22$ environ au-dessus des basses eaux. Il portait des guides destinés à fixer la position des cylindres. Ces derniers, composés de pièces de $1^m,22$ de longueur, étaient descendus au moyen de vérins et de chaînes. Aussitôt qu'ils touchaient le fond, des plongeurs y descendaient pour creuser à l'intérieur. On rajoutait de nouvelles pièces aux cylindres jusqu'à ce qu'ils s'élevassent à $3^m,65$ au-dessus des grandes eaux, après s'être enfoncés jusqu'à refus. L'épaisseur du métal a varié de $0^m,031$ à $0^m,038$. Quand on a employé l'air comprimé, sa pression a été comprise entre $0^k,351$ et $2^k,812$ par centimètre carré, suivant la profondeur. Pendant le fonçage, les piles étaient chargées de 152 tonnes de ballast; après le fonçage, elles ont été complètement remplies de béton.

A cause de la rapidité des courants et de la grande amplitude de la marée, on a regardé comme impossible d'employer la méthode ordinairement suivie, qui consiste à construire les poutres à proxi-

mité sur le rivage, à les amener par eau et à les lever pour les mettre en place. On a dû élever d'énormes échafaudages et construire sur place toute la partie métallique. On se fera une idée de l'importance de ces ouvrages accessoires quand nous aurons dit que, pour chacune des plus grandes travées, il a fallu employer près de 1.700 mètres cubes de bois. Le pont tournant, qui fait partie intégrante du viaduc, franchit le canal de Gloucester et Berkeley sur la rive sud. Il repose au centre de sa longueur sur une pile circulaire en maçonnerie. Une de ses portées traverse le canal, l'autre forme arche de rive.

Pendant très longtemps, on a travaillé de nuit, en ayant recours à l'éclairage par la lumière électrique. On a employé dans la construction près de 7.112 tonnes de fer.

Les épreuves ont été faites les 3 et 4 octobre 1879. Les flexions observées auraient été, rapporte-t-on, de 0^m,038 pour les travées de 99^m,66 et de 0^m,019 pour les plus petites. La dépense s'élèverait à environ 5 millions de francs, soit environ 3.945 francs par mètre courant. Le chiffre précis n'est pas indiqué.

Viaduc de Llandulas (Angleterre). — La reconstruction du viaduc de Llandulas, détruit par des inondations au mois d'août dernier, est un des plus remarquables exemples de la rapidité avec laquelle un ouvrage d'art peut être refait. Celui dont il s'agit se trouve sur la ligne principale du London et North-Western Railway, entre Chester et Holyhead; il sert à franchir la Rivière de Dulas. Le vieux viaduc était une lourde construction en maçonnerie, composée de 7 arches de 8^m,53 d'ouverture et de 6 piles, à laquelle on accédait de part et d'autre en remblai. Cet ouvrage ayant été emporté le 17 août 1879, on commença le 19 la construction d'un passage provisoire consistant en un pont sur chevalets, en charpente, auquel conduisaient deux déviations. Le 24, passait un premier train de marchandises immédiatement suivi d'un train de voyageurs.

En même temps on préparait tout ce qui était nécessaire pour la reconstruction du nouveau pont et on procédait au déblaiement des débris de l'ancien; cette dernière opération ne manquait pas que de présenter d'assez grandes difficultés. La distance à franchir étant de 68^m,27, on décida que la superstructure serait toute en acier, que les poutres reposeraient sur des piles en maçonnerie et qu'on aurait 7 travées de 9^m,75 chacune. La pile la plus élevée a une hauteur totale de 15^m,24. La partie inférieure des piles, qui a environ 1^m,22 d'épaisseur, est en maçonnerie ordinaire, la partie

supérieure en maçonnerie de briques, le tout avec mortier de ciment. Les fondations sont reliées par un radier général en maçonnerie et protégées en amont et en aval par des massifs également en maçonnerie.

Pendant que ces travaux s'exécutaient, on s'occupait de la fabrication des plaques d'acier nécessaires pour la superstructure. Il y avait en tout 42 poutres à faire, plus les poutrelles, les plaques pour le plancher, etc. Pour accélérer la fabrication (et c'est là le trait caractéristique sur lequel il est bon d'insister), on a eu l'idée hardie de laminer d'un seul morceau les tôles et fers cornières nécessaires pour les longerons supérieurs et inférieurs des poutres. Dans le délai extraordinairement court de 7 jours, toute la matière était laminée et prête à mettre en œuvre. On l'envoya aussi rapidement que possible à Llandulas pour ne pas perdre de temps, et, 7 jours après la réception des dernières pièces d'acier, toute la superstructure était montée. En un peu moins d'un mois à dater de l'accident, le trafic avait repris sur la ligne rétablie. Les essais ont donné une flexion maxima de $1^{mm},58$ seulement dans la partie centrale des poutres. Il est à peine nécessaire d'ajouter que pour arriver à un pareil résultat, au point de vue de la rapidité, les travaux ont été menés sans aucune interruption. La nuit, les chantiers étaient éclairés à la lumière électrique. Ce qui donne un intérêt tout particulier à ce travail, c'est d'abord que la superstructure est tout entière en acier, et, en outre, qu'il n'y a ni plaques d'assemblage ni couvre-joints.

Tous les détails qui précèdent sont extraits en substance du journal *l'Engineering* (31 octobre 1879).

Nouveaux mémoires sur les voûtes en maçonnerie. — Le problème général de la détermination de la stabilité des voûtes en maçonnerie a donné lieu, comme on le sait, à de nombreuses recherches, sans qu'on puisse cependant le considérer comme résolu d'une manière absolue. Les ingénieurs et les géomètres qui se sont occupés de cette difficile question l'ont envisagée à deux points de vue bien distincts. Les uns se sont proposés d'étudier si une voûte *donnée* remplit toutes les conditions requises pour la stabilité, en tenant compte de la résistance des matériaux, du glissement des maçonneries, des surcharges, etc. Les autres, au contraire, ont cherché à déterminer la forme qu'il *faudrait donner* à la voûte pour qu'elle satisfît aux conditions en question. Dans ce dernier cas, ils ont essayé de déterminer les courbes d'intrados et d'extrados qu'il faut adopter, l'épaisseur qu'il convient de don-

ner à la clef et aux différents joints, etc.; ou bien encore, se fixant à l'avance l'intrados, ils ont cherché à tracer l'extrados, à trouver l'épaisseur à la clef, etc., de manière que la voûte soit le plus stable possible.

Nous croyons devoir signaler à l'attention des ingénieurs deux mémoires nouveaux conçus dans ces deux ordres d'idées. Nous allons en résumer succinctement les résultats, sans pouvoir en donner une analyse complète qui sortirait du cadre d'une chronique. Nous n'aurons pas non plus à nous prononcer sur leur valeur; notre seul but étant de fournir aux lecteurs l'indication des travaux nouveaux sur la matière, c'est à eux qu'il appartiendra de les apprécier, quand ils auront pris connaissance des mémoires en question.

Le premier, récemment publié dans les *Mémoires de la société des ingénieurs civils*, est de M. Gobert. L'auteur s'est proposé, étant donné l'intrados d'une voûte, de déterminer l'extrados. Il énonce ainsi le problème qu'il se pose : « Étant donné un massif homogène, limité inférieurement à une courbe d'intrados, déterminer dans la région de sa douelle la portion de ce massif qu'il convient d'appareiller en voûte pour qu'elle se soutienne elle-même et supporte en même temps le massif, sous la condition que la pression *par unité* de surface ne dépassera nulle part la limite de *résistance* R *des* matériaux adoptés, mais qu'elle sera cependant atteinte dans le joint de clef, dans le joint de plus grande fatigue, et enfin dans tous les points de l'extrados cherché. » Comme on le voit, il ne s'agit plus ici de mesurer le degré de solidité d'une voûte, mais de tracer directement un profil qui réalise le minimum d'épaisseur avec une courbe *unique* de pression, en ayant égard aux conditions de charge et de résistance imposées. L'énoncé de ces conditions pourrait tout d'abord prêter à la critique; car il est bien difficile d'admettre qu'il ne puisse se produire dans une voûte qu'une *seule* courbe de pression. Il faudrait pour cela qu'on regardât comme nulles les influences de la température, des surcharges accidentelles, etc., et les effets dus à ces différentes causes sont loin d'être négligeables. Nous nous contentons de signaler cette difficulté en passant, sans toutefois nous y arrêter.

Dans ses raisonnements, M. Gobert ne se préoccupe pas du glissement de la voûte sur ses joints, la condition relative à cet effet pouvant être regardée comme toujours remplie dans la pratique. Et c'est en interprétant géométriquement la loi de répartition des pressions sur un rectangle, ou loi de Bélanger, qu'il est conduit à la considération de ce qu'il appelle les *droites-limites* pour les

pressions sur un joint quelconque et de leurs courbes conjuguées, qui sont des hyperboles. Au moyen de constructions géométriques simples et ingénieuses, il détermine aisément l'épaisseur minima qu'il faut donner à la voûte à la clef, la courbe unique de pression qui lui correspond, la forme de l'extrados, etc. Le profil de voûte ainsi défini jouit, suivant M. Gobert, des propriétés suivantes : 1° il n'admet qu'une seule courbe de pressions; 2° la pression par unité de surface sur le joint de clef et sur celui de plus grande poussée est juste égale à la limite de résistance R qu'on s'est imposée, et elle est uniformément répartie; 3° tous les points de l'extrados travaillent à la pression-limite R par unité de surface; 4° l'épaisseur à la clef est déterminée en fonction de toutes les données variables de la voûte; elle est un minimum; 5° le travail de l'intrados à la clef et au joint de plus grande poussée est égal à la limite R; il est moindre dans tous les autres points.

Le mémoire de M. Gobert est intéressant à plus d'un titre; il sera lu avec fruit par tous les ingénieurs, qui y trouveront des constructions géométriques d'une grande élégance.

A côté de ce travail exclusivement géométrique, nous devons mentionner les recherches également nouvelles du professeur Giovanni Salemi Pace, *Sur l'équilibre des voûtes symétriques et symétriquement chargées* (*Giorn. di sienze nat., éd. Écon.*, vol. XIV, 1879, Palerme). M. Salemi Pace rappelle d'abord que, d'après les expériences de Boistard, une voûte tend généralement à se partager en quatre morceaux ou parties dont chacune peut être considérée comme une sorte de levier s'appuyant sur les parties adjacentes; que si l'action des parties supérieures l'emporte sur la réaction des parties inférieures, de telle sorte que l'équilibre soit sur le point d'être rompu, les points par lesquels passent les résultantes, et par suite la courbe des pressions, sont à l'extrados pour le joint de la clef et celui des naissances et à l'intrados pour le joint de rupture aux reins; et qu'inversement, si l'action des parties inférieures est prépondérante sur la réaction des parties supérieures, de telle manière que l'équilibre soit sur le point d'être rompu dans le sens opposé au cas précédent, les points où passent les résultantes, et par suite la courbe des pressions, se transporteront à l'intrados pour les joints de la clef et des naissances et à l'extrados pour le joint de rupture. Boistard a montré qu'entre ces deux états extrêmes il pourra se produire toute une série d'états intermédiaires. Si donc on fait varier d'une manière continue les rapports d'action et de réaction des parties supérieures sur les parties inférieures, les points de passage de la

courbe des pressions se déplaceront d'une manière continue en allant d'une extrémité à l'autre des joints considérés. M. Salemi Pace appelle *points conjugués* les centres de pression ou points de passage de la courbe des pressions sur les joints où la voûte tend à s'ouvrir et qui correspondent à une même position de cette courbe relative à un état quelconque d'équilibre de la voûte.

Ceci posé, son travail se résume dans trois théorèmes qu'il énonce de la manière suivante :

1er *théorème.* — Dans une voûte symétrique en équilibre, les centres de pression sur les joints où la voûte tend à s'ouvrir sont des points conjugués; ils sont tels qu'on ne peut admettre une variation de la poussée horizontale à la clef sans admettre un déplacement simultané de ces points, et réciproquement.

2e *théorème.* — Étant donné une voûte en équilibre, il n'y a sur les joints suivant lesquels elle tend à s'ouvrir qu'un seul groupe de points conjugés qui donnent lieu à la même valeur possible de la poussée à la clef.

3e *théorème.* — Le groupe de points conjugués situés sur les joints suivant lesquels la voûte tend à s'ouvrir et qui conduisent à la même valeur de la poussée à la clef, et rien qu'à cette valeur qui leur est relative, correspond au mode unique suivant lequel l'équilibre de la voûte se vérifie réellement.

Il serait à désirer que des expériences faites avec les appareils si précis dont on dispose actuellement vinssent compléter celles de Boistard et fournir aux géomètres et aux ingénieurs les éléments nécessaires à l'établissement d'une théorie définitive.

O. C.

N° 14

BULLETIN BIBLIOGRAPHIQUE.

OUVRAGES ANGLAIS.

1879.

ADAMS (C. F. jun). — Notes on Railroad Accidents. New-York, 1879. 12°. 7 m. 80 d.

Notes sur les accidents de chemins de fer.

AYRTON (Prof. W. E.). — Electricity as a Motive Power. Discours Delivered to the Working Men of Sheffield. August 23rd, 1879. British Association. 8vo, pp. Leader ad Sons (Sheffield). Spons.

L'électricité considérée comme force motrice.

BURNELL (G. R.). — Hydraulic Engineering. New edition, revised and extended by D. K. Clark, M. I. C. E. With numerous Illustrations. (Weale's Series.)

Hydraulique. Nouvelle édition, revue et augmentée, par D. K. Clark. M. I. C. E.

CLIFFORD (Professor). — Lectures and Essays. Edited by Leslie Stephen and F. Pollock. With Introduction by F. Pollock, and Two Portraits. 2 vols., 8vo, 25s.

Leçons et essais du professeur Clifford, édités par Leslie Stephen et F. Pollock, avec une introduction de F. Pollock.

CODRINGTON. — The Maintenance of Macadamised Roads. By Thos. Codrington, M. Inst. C. E., F. G. S., General Superintendent of Roads for South Wales, 8vo, cloth, 6s.

Entretien des routes macadamisées.

CRAIG (J. Ph. D.). — Elements of the Mathematical Theory of Fluid Motion. Wave and Vortex Motion. (Van Nostrand's Science Series, No. 43.) 18mo, bds.

Éléments de la théorie mathématique du mouvement des fluides.

Ondes et tourbillons.

Dempsey (G. D.). — A Rudimentary Treatise on Locomotive Engines. By G. D. Dempsey, C. E. With large Additions treating of the Modern Locomotive, by D. Kinnear Clark, M.I.C.E. With numerous Illustrations. 3s.

Traité élémentaire des machines locomotives, par G. D. Dempsey, C. E., avec d'importantes additions sur la locomotive moderne, par D. K. Clark. M.I.C.E.

Denton (J. Bailey). — Sewage Disposal : Intermittent Downward Filtration per se, and in Combination with Surface Irrigation. Roy. 8vo, pp. vi—30. Spons. 1.

Traitement des eaux d'égouts; filtration naturelle et combinée avec l'irrigation superficielle.

Discussions on Isaac Stone's Pneumatic Sewerage System, by Engineers, Surveyors, and Medical Doctors, convened under the Auspices of the « Sanitary Register, » held in the Town Hall, Wrexham, July 19, 1879, under the Presidency of Dr. Lory Marsh. Roy. 8vo. pp. 16. « Guardian » Office (Wrexham). Spons. 6d.

Discussions sur le système pneumatique d'Isaac Stone pour les eaux d'égouts, par des ingénieurs, des inspecteurs et docteurs médecins.

Eddy (H. T., C. E.). — Thermodynamics. (Van Nostrand's Science Series, No. 45.) 18mo, bds., pp. 182. New York. 2/6.

Thermodynamique.

Everett (J. D.). — Units and Physical Constants. By J. D. Everett, D.C.L., F.R.S., Professor of Natural Philosophy, Queen's College, Belfast. Extra fcap. 8vo, 4s. 6d.

Unités et constantes physiques.

Higgs (P.). — The electric Light in its practical Application. London, 1879. 8°. 248 pp. 10m. 80d.

La lumière électrique au point de vue de ses applications pratiques.

Higgs (P.). — Electric Transmission of Power, its present Position and Advantages. London, 1879. 8°. 96 pp.

Transmission électrique de la force, son état actuel, ses avantages.

Horace Lamb (M. A.). — Hydrodynamics. A Treatise on the Mathematical Theory of the Motion of Fluids. By Horace Lamb, M. A.,

formerly Fellow of Trinity College, Cambridge Professor of Mathematics in the University of Adelaide. Demy 8vo, cloth, 12s.

Hydrodynamique. Traité sur la théorie mathématique du mouvement des fluides.

HUMBER (W.). — A Handy Book for the Calculation of Strains in Girders and similar Structures, and their Strength : Consisting of Formulæ and corresponding Diagrams, with numerous Details for Practical Application, etc. By W. Humber, A. I. C. E., etc. 3rd edition, with Woodcuts and 3 Plates.

Manuel pour calculer les efforts dans les poutres et les constructions similaires, ainsi que leur force. Formules et diagrammes correspondants, avec de nombreux détails pour l'application pratique.

JORDAN (H.). — Tabulated Weights, of Angle, Tee, Bulb, Round, Square, and Flat Iron and Steel, and other Information for the use of Naval Architects and Shipowners. By Chas. H. Jordan, Mem. Inst. N. A., Surveyor to the Underwriters' Registry for Iron Vessels. Third Edition, revised and enlarged royal 32mo, cloth, 2s. 6d.

Tables des poids des fers et aciers. Fers cornières, fers à T, fers cylindriques, ronds, carrés et plats, et autres renseignements à l'usage des constructeurs et des propriétaires de navires.

MANN (Rb. J., and Others). — Modern Meteorology. New York, 1879. 12°. with color. plates.

Météorologie moderne.

Mathematical Tables for Trigonometrical, Astronomical, and Nautical Calculations; to which is prefixed a Treatise on Logarithms by Henry Law, C.E., together with a Series of Tables for Navigation and Nautical Astronomy by J. R. Young, formerly Professor of Mathematics in Belfast College. New and Revised Edition. 3s. 6d. Just ready.

Tables mathématiques pour les calculs trigonométriques, astronomiques et nautiques.

Mathematical and Physical Papers. By George Gabriel Stokes, M. A., D. C. L., LL. D., F. R. S., Fellow of Pembroke College and Lucasian Professor of Mathematics. Reprinted from the Original Journals and Transactions, with Additional Notes by the Author.

Mémoires de mathématiques et de physique de Georges Gabriel Stokes. M. A. D. C. L. L. L. D. F. R. S., etc.

MICHAEL REYNOLDS. — Locomotive-Engine Driving : A Practical Manual for Engineers in charge of Locomotive Engines. By Michael Reynolds, M. S. E. 4th edition, greatly enlarged, comprising a Key to the Locomotive Engine. With Illustrations.

Conduite des machines locomotives. Manuel pratique pour les ingénieurs chargés du service des locomotives.

Modern Meteorology : A Series of Six Lectures delivered under the auspices of the Meteorological Society. By Dr. Mann, F. R. C. S., J. K. Laughton, F. R. G. S., R. Strachan, Rev. W. Clement Ley, M. A., G. J. Symons, F. R. S., and R. H. Scott, M. A., F. R. S. crown 8vo, Illustrated, cloth, 4s. 6d.

Météorologie moderne. Collection de six conférences faites sous les auspices de la Société météorologique.

Narrow Gauge Railways. By C. E. Spooner, C. E., F. G. S. Second Edition. 8vo, cloth, 15s.

Chemins de fer à voie étroite.

NEWTH (Samuel). — Elements of Mechanics, including Hydrostatics. With numerous Examples. By Samuel Newth, M. A., D. D. Sixth and enlarged edition.

Éléments de mécanique, comprenant l'hydrostatique, avec de nombreux exemples.

NICHOLS (W. R.). — Filtration of potable Water. New York, 1879. 8°. 93 pp.

Filtration de l'eau potable.

PATERSON (Edward). — Electric Signals; with an Explanation of the Principles on which they are Constructed, and full instructions for their Fixing and Maintenance. 8vo, pp. 48. Spons. 6d.

Signaux électriques, avec un exposé des principes sur lesquels ils reposent, et des instructions complètes pour leur fixation et leur entretien.

PATERSON (Malcolm McCulloch). — The Testing of Pipes and Pipe-Joints in the Open Trenches, with a Description of the Ossett Waterworks. 8vo, pp. 29, with Map and Plan. Spons. 2/.

Épreuves des tuyaux de conduite et des joints dans les tranchées ouvertes.

POOR (H. V.). — Manual of the Railroads of the United States for 1879-80, showing their Mileage, Stocks, Bonds, Cost, Traffic, Earnings, Expenses, and Organisations. With an Appendix containing a full Analysis of the Debts of the United States and of the several States. New, revised, and enlarged ed. 8vo. Low 24/.

Manuel des chemins de fer des États-Unis pour 1879-80.

POWELL (G. T.). — Foundations and Foundation Walls for all Classes of Buildings, Pile-drivings etc. New York, 1879. 8°, 119 pp. with Illustr.

Fondations et murs de fondation pour toutes les classes de bâtiments, etc.

Railways and Locomotives : A Series of Lectures delivered at the School of Military Engineering, Chatham. in the Year 1877. Railways, by John Wolfe Barry, M. Inst. C.E. Locomotives, by F. J. Bramwell, F.R.S., M. Inst. C.E.

Chemins de fer et locomotives. Leçons faites à l'école des ingénieurs militaires de Chatham en 1877.

REID (Henry). — A Practical Treatise on Natural and Artificial Concrete : Its Varieties and Constructive Adaptations. By Henry Reid, Author of « The Science and Art of the Manufacture of Portland Cement, » etc. New Edition, 8vo, cloth, 15s.

Traité pratique sur le béton naturel et artificiel.

Remarks upon Railway Continuous Brakes; furnishing the probable reasons why Railway Companies do not adopt those which are styled automatic. By F. T. Haggard. 1s.

Remarques sur les freins continus pour les chemins de fer; indicalion des raisons probables pour lesquelles les compagnies n'adoptent pas ceux dits automatiques.

On the effect of Brakes upon Railway Trains. By Capt. Douglas Galton, C.B. 6 plates. 1878. 2s. 6d.

De l'effet des freins sur les trains de chemins de fer.

RITTER (D^r^). — Elementary Theory and Calculation of Iron Bridges and Roofs. By August Ritter, Dr Phil., Professor at the Polytechnic School at Aix-la-Chapelle. Translated from the German (Third Edition) by H. R. Sankey, Lieut. R.E. Nearly ready.

Théorie élémentaire et calcul des ponts et toitures métalliques. (Traduction de l'allemand.)

Spon's Supplement to Dictionary of Engineering. Edited by E. Spon. Div. I. London, 1879. 8°.

Supplément au Dictionnaire de l'ingénieur de Spon.

Steam and the Steam Engine, Stationary and Portable. Being an extension of Mr. John Sewell's « Treatise on Steam, » by D. K. Clark, M.I.C.E. 2nd Edition corrected, with numerous illustrations. (Weale's Series.)

La vapeur et la machine à vapeur fixe et mobile.

Steam Engine : Land and Marine. By H. Evers. 1/0.

—Locomotive. By H. Evers, LL.D. 1/0.

Machines à vapeur. Machines terrestres et marines. Locomotives.

STEPHENS (Sir R.). — Science of Railway Construction. (Weale's Series.) 12mo. Crosby Lockwood. adv. 4/.

Science de la construction des chemins de fer.

STONE (D.). — Elementary Lessons on Sound. By Dr. W. H. Stone, Lecturer on Physics at St. Thomas's Hospital. Fcap. 8vo, with numerous illustrations, 3s. 6d.

Leçons élémentaires sur le son, par le Dr W. H. Stone, professeur de physique à St. Thomas's Hospital.

WATSON BUCK. — A Practical and Theoretical Essay on the Construction of Large Tunnel Shafts. By J. H. Watson Buck, M. Inst. C.E., Resident Engineer London and North Western Railway. Royal 8vo, with folding Plates.

Essai théorique et pratique sur la construction des galeries de larges tunnels.

WELLS (W. H.). — Hints on Levelling Operations. 8vo, sd. Spons. 1/.

Réflexions sur les opérations de nivellement.

DOCUMENTS PARLEMENTAIRES ET STATISTIQUES.

Railways. Capital and Loans. Return.

Chemins de fer. Capital et emprunts. Rapport.

Railways and Telegraphs, India.

Chemins de fer et télégraphes dans l'Inde.

Railways, 1878-79. Danvers' Report. 1s 1d.

Chemins de fer en 1878-79. Rapport Danvers.

Railways. Accidents, 1878. Report. 4d.
—— Traffic, etc. Report for 1878. 3d.

Chemins de fer. Accidents en 1878.
—— Trafic en 1878.

Railways Regulation.

Règlement pour les chemins de fer.

Railways. Accidents. Half-year ending June. Return. 11d.
—— Continuous Brakes. Return. 8d.

Chemins de fer. Accidents. Premier semestre 1879. Rapport. Freins continus. Rapport.

Railways. Maximum Rates and Tolls. Return. 1s. 6d.

Chemins de fer. Tarifs et péages maxima. Rapport.

Tramway, Gas, and Water Orders, 1879. Report. 2d.

Ordonnances pour les tramways, le gaz et l'eau. 1879. Rapport.

Westinghouse Brake. Harrison's Report. 1d.

Frein Westinghouse. Rapport Harrison.

Highways Accounts Returns. From Commons. 2d.

Rapport sur les comptes des grandes routes. (De la Chambre des communes.)

Higways. Receipts and Expenditure for 1877. 5d.

Grandes routes. Recettes et dépenses pour 1877.

Electric Lighting. Report of Committee, and Evidence. 3s. 6d.

Éclairage à la lumière électrique. Rapport du comité, avec pièces justificatives.

Canal Boats. Return. 1d.

Bateaux de canaux. Rapport.

London Bridge. Report of Committee, with Evidence. 2s.

Pont de Londres. Rapport de la commission, avec pièces justificatives.

Metropolitan Board of Works. Report. 1s. 6d.

Conseil métropolitain des travaux publics. Rapport.

Public Works Commission, Ireland. Return. 1d.

Commission des travaux publics d'Irlande. Rapport.

OUVRAGES ALLEMANDS.

DROSSBACH (Mx.). — Ueber Kraft und Bewegung im Hinblick auf die Lichtwellenlehre und die mechanische Wärmetheorie. Halle, 1879. Pfeffer. 8°. VIII, 120 pp. 2 m. 40 d.

Sur la force et le mouvement dans la théorie des ondes lumineuses et la théorie mécanique de la chaleur.

HANDBUCH der Ingenieurwissenschaften in 4 Bdn. I. Bd. : Vorarbeiten, Erd-, Strassen-, Grund- und Tunnelbau. Im Verein mit Fachgenossen herausgegeben von Edm. Heusinger v. Waldegg. 2. Hälfte. 1. Lfg. Leipzig, 1879. Engelmann. 8°. p. 417-880. Mit 146 eingedr. Holzschn. u. 28 Steintaf. 20 m. S. 1878 Nr. 1193.

Manuel de la science de l'ingénieur, en 4 volumes. 1er volume. Travaux préparatoires : terrassements, routes, fondations, tunnels.

HERRMANN (Gst.). — Zur graphischen Statik der Maschinengetriebe. Ein Leitfaden zum Gebrauche für Maschinentechniker, Baumeister und Ingenieure, sowie zum Unterrichte an technischen *Lehranstalden*. Nebst einem Atlas mit 8 lith. Taf. Braunschweig, 1879. Vieweg et Sohn. 4°. VII, 74 pp. 6 m. 20 d.

Sur la statique graphique des organes des machines. Manuel à l'usage des constructeurs de machines, des architectes et des ingénieurs, etc.

MEISSNER (G.). — Die Hydraulik und hydraulischen Motoren. Ein Handbuch für Ingenieure, Fabrikanten und Constructeure. Zum Gebrauche für technische Lehranstalten, sowie ganz besonders zum Selbstunterricht. II. Bd. Die Turbinen und Wasserräder. 5. Heft. Jena, 1879. Costenoble. 8°. p. 229-288. Mit 8 Steintaf. 3 m.

L'hydraulique et les moteurs hydrauliques. Manuel à l'usage des ingénieurs, des fabricants et des constructeurs.

PLANCK (Mx.). — Ueber den zweiten Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie. München, 1879. Th. Ackermann. 8°. 61 pp. 1 m. 20 d.

Sur le deuxième théorème fondamental de la théorie mécanique de la chaleur.

THIEM (A.). — Die Wasserversorgung der Stadt Leipzig. Vorproject,

im Auftrage des Rathes und der Stadverordneten bearbeitet. Mit 16 lith., chromo-lith. u. photolith. Plänen u. 3 Beilagen. Leipzig, 1879. Knapp. 4°. V, 54 pp. 16 m.

La distribution d'eau de la ville de Leipzig. Avant-projet rédigé sur l'invitation du conseil et des délégués de la ville.

Thiem (A.). — Das Wasserwerk der Stadt Nürnberg. Project, im Auftrage der beiden Gemeinde-Collegien bearbeitet. Leipzig, 1879. Knapp, 4°. V, 55 pp. Mit 20 lith., chromolith. u. photolith. Taf. 24 m.

La distribution d'eau de la ville de Nuremberg. Avant-projet rédigé sur l'invitation des deux collèges communaux.

Uhland (W. H.). — Leistungen und Fortschritte in der Construction der Motoren, Regulatoren, Triebwerke und Maschinenelemente. Unter Mitwirkung erfahrener Fachgenossen herausgegeben. [Aus : „Jahrbuch der Maschinentechnik".] Mit 5 Taf. Photolith. u. 88 eingedr. Holzschn. London, 1879. Knapp. 8°. XVI, 176 pp. 6 m.

Progrès et perfectionnements dans la construction de moteurs, régulateurs, etc.

Winkler (E.). — Vorträge über Brückenbau, gehalten an den technischen Hochschulen in Prag, Wien und Berlin. Eiserne Brücken. 4. Heft. Querkonstruktionen. 4. Lfg. Mit 139 eingedr. Holzschn. Wien, 1879. Gerold's Sohn. 8°. VII u. p. 277-420, 7 m. 60 d.

Leçons sur la construction des ponts, données aux Écoles techniques supérieures de Prague, Vienne et Berlin. — Ponts métalliques.

Wittmann (W.). — Statik der Hochbauconstructionen. I. Thl. : Steinconstructionen. Mit 7 lith. Kpfrtaf. u. 51 eingedr. Holzschn. Berlin, 1879. Ernst et Korn. 8°. VI, 87 pp. 6 m.

Statique des constructions. 1re partie. Construction en fer.

Ziese (R.). — Ueber neuere Schiffs-Maschinen. Kiel, 1879. Univ.-Buchh. 8°. 150 pp. Mit 2 Steintaf. 4 m.

Sur de nouvelles machines de bateaux.

Zwick (H.). — Hydraulischer Kalk und Porland-Cement, nach Rohmaterialien, physikalischen und chemischen Eigenschaften, Untersuchungen, Fabrikation und Werthstellung, unter beson-

derer Rüchksicht auf den gegenwärtigen Stand der Cement-Industrie. Mit 38 Abbildgn. Wien, 1879. Hartleben. 8°. III, 311 pp. 4 m. 50 d.

Chaux hydraulique et ciment de Portland ; matières premières, propriétés physiques et chimiques, recherches, fabrication, estimation de leur valeur, au point de vue spécial de la situation actuelle de l'industrie du ciment.

OUVRAGES ITALIENS ET ESPAGNOLS.

Andreano (ing. C.). — Il progetto di legge per le costruzioni ferroviarie, e le ferrovie economiche a sezione ridotta. Roma, tip. Barbèra. in-8. pag. 18.

Le projet de loi sur la construction des voies ferrées et les chemins de fer économiques à section réduite.

Audinot (Alfonso). — L'Italia e le ferrovie economiche. Roma, tip. Artero et C. in-8. pag. 82. — L. 1.50.

L'Italie et les chemins de fer économiques.

Benati (tenente-colonnello). — Le inondazioni e le ferrovie; cause, effetti e rimedi : memoria. Pavia, tip. succ. Bizzoni. in-16. pag. 26. — L. 0.50.

Les inondations et les chemins de fer ; causes, effets et remèdes.

Blanchet (A. P.). — Canal interoceanico maritimo de Nicaragua ; proyecto nuevo. Canalizacion con una cala de seis metros a establecer, a precio reducido, entre el Atlantico y el Pacifico : por Ar. P. Blanchet, d'Henrichemont. Grand in-8°, 64 p. et carte. Bourges, imp. Sire.

Canal maritime interocéanique de Nicaragua ; projet nouveau, etc.

Bottiglia (ing. Angelo). — Il nuovo motore a scoppio di gas. Torino, Camilla e Bertolero. — L. 1.50.

Le nouveau moteur marchant par la détonation du gaz.

Cagnola (Francesco). — Memoria sul progetto di nuova derivazione dell'Adda in Muzza. Lodi, tip. Cagnola, 1878.

Mémoire sur le projet de dérivation nouvelle de l'Adda à Muzza.

CANTALUPI (A.). — Portafoglio dell'ingegnere architetto ed agronomo, ossia raccolta di tavole, formole e dati pratici sulle scienze applicate alla meccanica, all'idraulica, alla resistenza dei solidi, ecc. 3.ª ediz. rifatta ed aumentata. Milano, Gius. Galli edit. (tip. Sociale). in-16. pag. 366. — L. 5 leg. in tela e oro.

Portefeuille des ingénieurs, architectes et agronomes; ou recueil de tables, formules et données pratiques sur les sciences appliquées à la mécanique, etc.

CESELLI (ing. Marco). — La condotta dell'acqua mediante tubi: appunti teorico-pratici. Roma, libreria A. Manzoni di A. Tenconi (tipogr. del Genio Civile). in-16. pag. 50 e una tav. — L. 1.80.

La conduite des eaux au moyen de tuyaux. Considérations théoriques et pratiques.

CHICCHI (P.). — Corso teorico-pratico sulla costruzione dei ponti metallici, ad uso degli allievi delle scuole di applicazione e degli ingegneri e costruttori. Disposa 1ª. Padova, 1879. 8°. 82 pp.

Cours théorique et pratique sur la construction des ponts métalliques, à l'usage des élèves des écoles d'application et des ingénieurs et constructeurs.

CLAVARINO (A.). — Nuovi studi sulla resistenza dei cilindri cavi e delle bocche da fuoco. Roma, tip. C. Voghera. in-8. pag. 64.

Nouvelles études sur la résistance des cylindres creux et des bouches à feu.

Congrès (deuxième) météorologique international de Rome. — Rapports sur les questions du programme. 2ª fascicule. Rome, imp. héritiers Botta. In-4° picc., pag. 164.

CREMONA (Luigi). — Le figure reciproche nella statica grafica. 3ª ediz. con 5 tav, litogr., precedute da una introduzione del dott. Giuseppe Jung. Milano, Ulrico Hoepli edit. (tip. Bernardoni di C. Rebeschini e C.). in-8. pag. 32. — L. 3.

Les figures réciproques en statique graphique. 3ª édition, précédée d'une introduction par le Dr Giuseppe Jung.

DADDI (cap. G. B.). — Geometria pratica. Della combinazione delle osservazioni nel metodo dei minimi quadrati, Torino, tip. Fodratti. in-8. pag. 136. — L. 3.

Géométrie pratique. De la combinaison des observations dans la méthode des moindres carrés.

DEMEDIO (A.). — Il problema ferroviario in Italia, ovvero l'esercizio governativo e l'esercizio privato: risposta al quesito N. 158 della Commissione parlamentare di inchiesta per le ferrovie italiane. Palermo, tip. Virzi. in-4. pag. 70.

Le problème des chemins de fer en Italie, ou l'action gouvernementale et l'initiative privée.

DUGNANI (ing. prof. Gaspare). — Prontuario per la misura dell' acqua uscente da una bocca rettangolo-verticale e per la soluzione dei problemi relativi, pubblicato per cura dell'allievo ing. Enrico Maggioni. Milano, G. Panzeri tip. edit. in-4. pag. 12.

De la mesure de l'eau sortant d'un orifice rectangulaire vertical, et de la solution des problèmes qui s'y rattachent.

Elenco dei fari e fanali sulle coste del mar Mediterraneo, del mar Nero, e del mar d'Azof (1879) Genova, tip. dei frat. Pagano. in-8. pag. 158. — L. 1.

Catalogue des phares et fanaux sur les côtes de la Méditerranée, de la mer Noire et de la mer d'Azof.

FADDA (S.) e OLIVETTI (A.). — La locomotiva, sua costruzione ed arte di guidarla; manuale compilato sulla 4ª edizione dell'opera di Brosius e Koch, corredato di numerose modificazioni ed aggiunte ad uso del personale delle Strade Ferrate e dei Tramvays, delle Scuole industriali e ferroviarie, degli Ufficiali dell' esercito ecc. ecc. Parte I. Della caldaia, con 162 incisioni e 4 tav. lit. — Vol. 2° della Biblioteca scientifico-popolare. in-8 di pag. XII-244. — L. 3.

La locomotive. Sa construction et l'art de la conduire.

FAVARO (Antonio). — Notizie storico-critiche sulla costruzione delle equazioni. Modena, Soc. tipogr., antica tip. Soliani, 1878. in-4 gr. pag. 206 e tav.

Notice historico-critique sur la construction des équations.

GAUTERO (G.). — Principi generali di meccanica e di statica grafica. in-4 autografato con figure. — L. 5.

—— Sunto telle lezioni sul vapore e sulle macchine a vapore, ad uso dei fuochisti e macchinisti, tenute nella scuola professionale di Biella. in-16 con 23 tav. — L. 1.50.

Principes généraux de mécanique et de statique graphique.
Résumé de leçons sur la vapeur et les machines à vapeur.

GIACCONE (P.). — Corpo reale del Genio Civile. Progetto dell'esca-

vazione dei porti, rade e spiaggie aperte dell'isola di Sardegna. Capitolato d'appalto. Roma, tip. eredi Botta. in-4. pag. 38.

Corps royal du génie civil. Projet de creusement des ports, rades et plages ouvertes de l'île de Sardaigne.

GILL. R. Lezioni elementari di macchine a vapore, date nel R. Istituto di Marina Mercantile di Palermo. Seconda edizione corretta ed aumentata in-8 con atlante. — L. 12.

Leçons élémentaires sur les machines à vapeur, faites à l'Institut royal de la marine marchande de Palerme.

ISSEL (prof. Arturo). — Sulla ostricoltura in Francia e in Italia: relazione. Genova, Pellas. in-4 p. pag. 14.

Sur l'ostréiculture en France et en Italie.

LEALE (ing. Giulio). — Della fermezza dei tubi idraulici: studii. Alessandria, tip. Garzotti e C. in-4. p. 24.

Dalla Raccolta di memorie tecniche del Collegio degli Ingegneri ed Architetti di Alessandria.

Sur la solidité des tuyaux de conduite d'eau.

MARIGNANI (ing. Cesare). — Le acque della pianura posta tra i fiumi Adige, Mincio, Po e il mare Adriatico; e la sistemazione dei canali di scolo della provincia di Rovigo. Osservazioni e ricerche. Roma, tip. C. Voghera. in-4. pag. 156 e 2 tav.

Les eaux de la plaine située entre les fleuves l'Adige, le Mincio, le Pô et la mer Adriatique.

MAZZOCCHI (ing. Luigi). — Memoriale tecnico: raccolta di tavole, formole e regole pratiche di aritmetica, algebra, geometria, trigonometria, topografia ecc. ad uso degli Ingegneri, architetti, meccanici, capomastri, periti, ecc. 2ª. ediz. aumentata e corretta. Milano, Manini edit. (Regia tipogr.). in-64 obl. con 150 fig.

Mémorial technique; recueil de tables, formules et règles pratiques d'arithmétique, algèbre, géométrie, trigonométrie, topographie, etc., à l'usage des ingénieurs, architectes, etc.

Ministero di Agricoltura Industria e Commercio: Direzione dell' Agricoltura. Annali di Agricoltura 1879, n. 8. Della ricerca ed utilizzazione delle acque di sorgenti, dell'ing. G. Chizzolini, con figure illustrative. Milano, tip. fr. Rechiedei. in-8. pag. VI, 192.

Ministère de l'agriculture, de l'industrie et du commerce. Annales d'agriculture. De la recherche et de l'utilisation des eaux de sources, par l'ingénieur Chizzolini.

Nazzani (I.). — Idraulica, matematica e pratica, trattato di idrostatica e idrodinamica, ad uso delle scuole superiori d'applicazione degli Ingegneri comunali e provinciali, del Genio Civile e degli idrotecnici pratici. Volumi 4 in-8 con atlante. — L. 30. D.

— Formole empiriche per l'idraulica sperimentale e nuove formole per le portate del Po e del Tevere, da servire come Prima Appendice all' Idraulica matematica e pratica. Un vol. in-8. — L. 3. D.

Hydraulique, mathématique et pratique; traité d'hydrostatique et d'hydrodynamique à l'usage des écoles supérieures d'application des ingénieurs communaux et provinciaux, du génie civil et des hydrotechniciens pratiques.

Formules empiriques pour l'hydraulique expérimentale.

Paoli (ing. Castruccio). — I consorzi idraulici delle provincie di Lucca e di Pisa: confronti tecnici e amministrativi. Lucca, tipogr. del Serchio. in-8. pag. 32. — L. 0 50.

Les associations hydrauliques des provinces de Lucques et de Pise.

Pittaluga (Gaetano). — Degli assi elastici. Torino, stamp. Reale. in-8. pag. 16.

Sur les axes élastiques.

Pittei (Costantino). — Congresso internazionale di meteorologia a Roma. Rendiconto delle sedute. Roma, tip. Barbera. in-8 gr. pag. 12.

Congrès international de météorologie à Rome; compte rendu des séances.

Rubbini (prof. Giuseppe). — Calore e movimento: memoria. Bologna, tipogr. Arcivescovile. in-16. pag. 80.

Chaleur et mouvement; mémoire.

Rumi (ing. prof. S. A.). — La meccanica agricola in Sardegna: lettera al dott. prof. Luigi Intina. Sassari, tipogr. Azuni. in-16 p. pag. 16.

La mécanique agricole en Sardaigne.

Tommasi Crudeli (Corrado). — Della distribuzione delle acque nel sottosuolo dell'Agro Romano, e della sua influenza nella produzione della malaria. Roma, tipogr. Salviucci. in-4. pag. 18 e 7 tav.

De la distribution des eaux dans le sous-sol de l'Agro-Romano, et de son influence sur la production de la malaria.

UHLAND (W. H.). — Le macchine a vapore del sistema Corliss e dei sistemi derivatine con e senza distribuzione a scatto, con particolare riguardo alle motrici a vapore dell'Esposizione di Parigi del 1878. Descrizione e norme: riduzione dal testo tedesco con note e aggiunte per cura di Giuseppe Colombo — Fasc. 3°. Testo. Milano, Ulrico Hoepli edit.-libr. in-4. pag. 49 a 72. — L'opera sarà completa in 6 parti con 6 atlanti in foglio, a L. 15 ciascuna parte.

Les machines à vapeur du système Corliss et des systèmes dérivés, etc. (Traduction de l'allemand.)

VERSI (capit. Ciro). — La diga subacquea attraverso al golfo della Spezia. Roma, tip. C. Voghera. in-8. pag. 66 e 8 tavole.

La digue subaquatique à travers le golfe de la Spezzia.

VIVANET (Filippo). — Due lezioni sui principali processi grafici a base scientifica. Cagliari, tip. del Commercio. in-16. pag. 30.

Deux leçons sur les principaux procédés graphiques à base scientifique.

ZANNINI (ing. Giuseppe). — Considerazioni sul fiume Po e sulle terre basse a destra del medesimo. Modena, tipogr. del Commercio. in-32. pag. 32. — L. 0.25.

Considérations sur le fleuve le Pô et sur les terres basses à sa droite.

N° 15

PRIX DÉCERNES

PAR DÉCISION MINISTÉRIELLE DU 20 FÉVRIER 1880,

conformément à la circulaire du Directeur général des ponts et chaussées du 28 janvier 1836,

AUX AUTEURS

des meilleurs mémoires publiés dans les Annales des ponts et chaussées

EN **1878**.

MÉDAILLE D'OR DE 600 FRANCS

A M. **Chambrelent**, inspecteur général des ponts et chaussées, pour son *Mémoire sur l'assainissement et la mise en valeur des Landes de Gascogne.*

MÉDAILLES D'OR DE 500 FRANCS :

1° A M. **Huet**, ingénieur en chef des ponts et chaussées, pour son *Étude sur les chemins de fer métropolitains de Londres;*

2° A M. **René Lefebvre**, ingénieur des ponts et chaussées, pour son *Mémoire sur la constitution des terres et sur les accidents dans les terrains argileux;*

3° A M. **Baum**, ingénieur des ponts et chaussées, pour son *Étude sur les chemins de fer d'intérêt local.*

MENTION HONORABLE.

A M. **Darcel**, ingénieur en chef des ponts et chaussées, pour son *Mémoire sur l'éclairage des villes.*

N° 16

NOTICE NÉCROLOGIQUE

SUR

M. WATIER,

INSPECTEUR GÉNÉRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES,

Par M. CHAMBRELENT, Inspecteur général des ponts et chaussées.

Le Corps des Ponts et Chaussées vient de faire une perte cruelle ; notre cher et vénéré Inspecteur général, François Watier, après 43 années de services éminents, venait d'être élevé au rang suprême du Corps, lorsqu'il a succombé aux fatigues d'une vie de travail et de dévouement à ses devoirs ; « il est tombé sur la brèche, « comme l'a dit notre honorable Président, au moment où nous nous séparions de lui. Il n'est pas de mort plus glorieuse que la sienne.

Le Conseil général des Ponts et Chaussées s'est associé aux paroles touchantes et émues par lesquelles son Président a exprimé les sentiments et les regrets de tous, et il a demandé que ces paroles fussent transcrites au registre de ses délibérations, et qu'une copie du procès-verbal de la séance fût adressée à Mme Watier, comme un témoignage de profonde et respectueuse sympathie.

Voici l'allocution du Président du Conseil :

« La mort vient de nous enlever un de nos camarades « et vous partagez tous, certainement, la profonde émotion « sous laquelle ce funeste événement m'a laissé.

« M. Watier faisait depuis peu partie de la Commission « d'inspection des chemins de fer de l'État, et cette cir- « constance spéciale m'avait mis en relations plus directes « avec lui. Il s'était, selon son habitude, mis résolument

« au travail de ce nouveau service lorsque la maladie est « venue l'arrêter, nous privant de son concours éclairé et « de ses cordiales relations.

« Vous savez, Messieurs, que, d'après une de nos meil- « leures traditions, ce sera à celui de ses camarades le « plus au courant de sa carrière d'ingénieur, que reviendra « l'honneur d'écrire sa biographie. Cette pieuse coutume « sera conservée parmi nous, j'en ai la ferme confiance, « et je n'ai pas, dès lors, à vous entretenir des services « de notre regretté collègue. Il me suffira de dire que son « esprit si fin et d'un sens si éminemment pratique, lais- « sera un grand vide dans le Conseil général des Ponts et « Chaussées, dont tous les membres ont pu apprécier sa « valeur.

« Nous perdons, Messieurs, un ingénieur consommé et « un excellent camarade, mort sur la brèche, fidèle à son « devoir et à la religion de ses pères. Que cette mort soit « pour nous un exemple, et souhaitons que la sympathique « expression de nos regrets puisse apporter quelque adou- « cissement à la douleur de la famille du digne camarade « auquel nous disons aujourd'hui un suprême adieu. »

Pendant que tous les ingénieurs présents à Paris, et tous ceux qui connaissaient la noble vie de Watier, se pressaient pieusement autour de son cercueil, la ville de Nantes, en apprenant la fatale nouvelle, lui décernait spontanément les hommages les plus honorables, pour les services qu'il avait rendus à la cité.

Le Conseil municipal, en apprenant la mort de Watier, suspendait sa séance et décidait qu'il assisterait à ses obsèques pour donner un témoignage de sa sympathie à l'éminent ingénieur que la ville de Nantes venait de perdre.

Les nombreux navires ancrés dans le port mettaient leur pavillon en berne.

Enfin la Chambre de commerce décidait de son côté, « qu'elle ferait parvenir à Mme veuve Watier, l'expression

« de ses sentiments de condoléance, et qu'elle se ferait « représenter aux obsèques de cet ingénieur regretté, qui « dans le cours de sa carrière avait rendu de si grands « services aux intérêts du pays. »

La ville entière se pressait en effet le lendemain autour de ce cercueil, emportant dans la tombe une des plus belles existences qui aient honoré notre Corps.

Le maire résumait ainsi sur cette tombe les douleurs de la cité.

« Je viens, au nom de la ville de Nantes, rendre un su« prême et triste hommage à l'un de ses plus dignes « enfants.

« Qui, en effet, Messieurs, a plus honoré, qui a plus « servi cette cité que M. l'Ingénieur Watier?

« Je tairai les vertus de l'homme privé. M. Watier avait « pris un soin jaloux de cacher, sous une simple et con« stante modestie, les actes les plus généreux ; je me gar« derai de lever le voile mis par lui-même sur ses mérites.

« Je tairai également ses talents professionnels ; je crain« drais de les amoindrir en les définissant ; qu'il me suffise « de rappeler, et le crédit qui s'attachait à ses conseils, « et cette haute position d'Inspecteur général des Ponts et « Chaussées, à laquelle il venait d'être promu et dont, « hélas ! il a si peu joui ! »

. . . .

Le Président de la Chambre de commerce rendait à son tour un dernier hommage à l'Ingénieur, que toute la population pleurait en ce moment.

« Le commerce nantais, Messieurs, ne saurait manquer « au triste devoir d'exprimer devant cette tombe le témoi« gnage de ses regrets pour le savant, le compatriote, « l'ami que nous pleurons.

« Mais je craindrais de blesser sa mémoire, si j'entre« prenais de retracer ici tous les mérites de sa trop courte « carrière.

« Personne, en effet, Messieurs n'a possédé plus que « M. l'Inspecteur général Watier, cette qualité si rare de « la modestie, et le don de rendre de grands services avec « simplicité.

« Un cœur d'or, dévoué à son pays, à sa famille, à ses « amis, une belle intelligence secondée par une rare puis- « sance de travail, une instruction à la fois savante et « pratique, telles étaient les qualités maîtresses de cet « homme de bien, de cet ingénieur éminent.

« La France perd en lui un serviteur infatigable, Nantes, « son pays natal qu'il aimait tant, un protecteur vigilant « et dévoué. »

. . . .

De tels hommages honorent doublement l'Ingénieur qui les a si bien mérités et ceux qui les lui ont si noblement décernés.

C'est à la fois un devoir et une consolation pour nous qui l'avons si bien connu et qui l'avons tant aimé de résumer ici cette vie de dévouement, et de grands services rendus, pour l'offrir comme le modèle le plus digne à suivre aux Ingénieurs qui viendront après nous.

François Watier naquit à Nantes le 21 octobre 1816;

Son père, qui était officier de marine, le prit avec lui sur son navire, dès ses plus jeunes années ; il lui donna lui-même ces premières notions de mathématiques dont il devait tant profiter plus tard. Ce fut dans cette vie de marin, nous disait-il souvent, qu'il prit dès son jeune âge, cette habitude de travail opiniâtre qu'il a conservée jusqu'à son dernier jour. C'est là aussi, il faut le dire nous-mêmes à son honneur, c'est au milieu de cette immensité des mers, qui élève toujours les grandes âmes vers Dieu, qu'il prit ces nobles sentiments de devoir et d'abnégation, que nul n'a portés plus loin que lui.

Admis en 1834, à l'âge de 18 ans, à l'École polytech-

nique, Watier en sortait un des premiers, 2 ans après, pour entrer dans le Corps des Ponts et Chaussées.

Le jeune ingénieur s'était déjà fait remarquer à l'École Polytechnique, par son ardeur au travail et son détachement des plaisirs futiles de son âge; mais c'est surtout à l'École des Ponts et Chaussées, où il se plaça à la tête de ses camarades, remportant presque tous les premiers prix, que l'on reconnut qu'il devait devenir un des ingénieurs les plus distingués et les plus méritants du Corps.

Il sortit le premier de l'École des Ponts et Chaussées et fut attaché au secrétariat du Conseil.

L'année suivante, en 1839, il était appelé au service du canal latéral à la Marne, où tout en suivant l'exécution de travaux importants, il rédigea un nombre considérable de projets qu'il remit tous achevés à son Ingénieur en Chef, avant de quitter ce service, 5 ans après.

C'est sur ces premiers travaux, où il eut à construire plusieurs écluses, dans les conditions les plus difficiles, que Watier, oubliant déjà tout pour son service, partait le matin pour ses chantiers et ne rentrait que le soir, sans avoir pensé à ses repas. C'est là nous répétait-il encore dans ses derniers jours, avec sa simplicité ordinaire, qu'il avait contracté les premiers germes du mal qui devait l'emporter.

En 1844, il fut appelé au chemin de fer de Tours à Nantes, où il s'occupa de la rédaction des projets définitifs de la ligne, et il fut chargé en même temps du service de la navigation de la Loire, où il commença ses études si consciencieuses dont les résultats devaient être plus tard considérables pour l'amélioration du fleuve et pour le commerce de la ville de Nantes.

Pendant qu'il était chargé de ce double service si important, il s'occupa en outre, en 1851, de la rédaction du projet de distribution d'eau de la ville de Nantes, et

surveilla lui-même l'exécution de ce grand travail qu'il termina en 1856.

Il fut enfin chargé des études du chemin de fer de Nantes à Brest.

En 1856, l'ingénieur ordinaire si capable qui venait de mener de front, pendant douze ans, tant de travaux si considérables, inspirait une telle confiance qu'on lui demanda d'accepter une mission à l'étranger qui prouvait le cas qu'on faisait de sa valeur comme Ingénieur.

Watier fut appelé en Portugal pour être chargé des études du réseau des chemins de fer comprenant notamment le chemin de Lisbonne à Porto et de Lisbonne à Badajoz.

Pendant qu'il faisait ces études, il était chargé, en outre, de la direction du chemin de fer de Lisbonne à Sammarem. Les travaux de cette ligne avaient éprouvé des avaries considérables, et les souterrains qu'on avait commencé à y construire étaient en quelque sorte abandonnés.

Watier fut chargé par le Gouvernement Portugais de réparer les avaries et de terminer d'office les travaux en régie au compte de la compagnie concessionnaire, impuissante à les achever.

Il se mit à l'œuvre avec son ardeur et son énergie ordinaires et moins d'un an après, non seulement tous les travaux étaient achevés, mais le service d'exploitation était organisé par l'Ingénieur qui avait su si bien diriger ces travaux et les mener seul à bonne fin.

Au mois de mai 1857, le jeune Ingénieur qui venait de se distinguer encore d'une manière si remarquable en Portugal fut élevé au grade d'Ingénieur en Chef et chargé de la navigation du Lot, où il continua à déployer le même zèle et les mêmes aptitudes pour la construction des nouveaux travaux qui lui étaient confiés.

Tout en s'occupant des travaux importants de ce service

d'Ingénieur en Chef, Watier fut chargé des études contre les inondations dans les bassins du Lot et du Tarn, et organisa d'une manière des. plus remarquables le service hydrométrique de ces deux bassins.

Il fut attaché ensuite au canal de Nantes à Brest, et en 1864 il était appelé à la tête du service du département de la Loire-Inférieure et chargé, en outre, du service spécial de la navigation de la Loire.

C'est dans ce double poste, où il arrivait muni d'une expérience consommée que lui avaient déjà donnée vingt-huit années consacrées entièrement à de nombreux et importants travaux, qu'il a rendu à son pays natal ces services signalés que nous avons vu apprécier d'une manière si honorable sur sa tombe par les représentants de la ville de Nantes.

En 1874, Watier était nommé Inspecteur général des Ponts et Chaussées et venait prendre au Conseil supérieur du Corps la place qu'il y a si brillamment occupée pendant près de six ans.

Attaché à une division où se trouvaient tous les grands travaux auxquels il avait si utilement coopéré jusque-là, il s'adonna encore avec plus d'ardeur que jamais à ces travaux et finit par faire triompher toutes ses idées, pour lesquelles il avait eu souvent à soutenir des luttes opiniâtres. Il mettait à soutenir ses idées autant de douceur dans les formes que d'insistance dans le fond, mélange de bonté et d'opiniâtreté qui étaient le fond de son caractère.

Il venait enfin d'obtenir la récompense bien méritée de tant de services rendus par son élévation au rang suprême du Corps, et nous devions tous espérer de le voir prendre un peu de repos, tout en éclairant le Conseil général de ses avis, que l'élévation de ses idées et son expérience si consommée des travaux nous rendaient si précieux.

Mais en se voyant arrivé au dernier sommet, Watier ne

pensa d'abord qu'à une chose : compléter l'instruction de toutes les affaires qui allaient passer à son successeur.

Tout en s'occupant avec le même soin de la partie active de l'inspection qu'il allait quitter, au milieu des voyages et des fatigues que lui imposait la visite des chantiers et des bureaux des divers ingénieurs de son inspection, il se livrait à un travail de cabinet d'autant plus pénible pour lui qu'il était loin de son domicile ordinaire, au milieu d'hôtels où il ne trouvait pas le confortable que réclamait sa santé, déjà si délabrée par tant de travaux et de fatigues.

Il termina tout cependant, il ne laissa plus que le travail à venir à son successeur; mais cette fois l'effort avait dépassé ses forces, la blessure était mortelle. Il ne devait plus être donné à cette noble victime du travail et du devoir de combattre encore comme il l'avait fait toute sa vie.

Il arriva à Paris déjà brisé par la fatigue, ressentant, nous disait-il, un mal qu'il n'avait encore jamais éprouvé, et, *peu de jours* après, il s'est éteint, entouré des soins dévoués de sa digne compagne et soutenu par ses sentiments religieux. Il a couronné ainsi par une belle mort une vie de devoir et de dévouement. Sa fin chrétienne doit être un grand sujet de consolations et d'espérances pour sa pieuse veuve, qui doit trouver, en outre, dans la vive et respectueuse sympathie dont son affliction est entourée la preuve des sentiments qu'inspirait à tous celui qu'elle pleure aujourd'hui.

Pour nous qui pleurons aussi l'homme de cœur et le collègue si éminent, rappelons-nous au milieu de notre douleur combien Watier a honoré notre Corps et citons sa vie entière à nos successeurs comme le plus noble exemple à leur donner.

Sa dernière pensée a été d'ailleurs pour les jeunes ingénieurs qui doivent venir après lui. Avant de mourir, il a demandé que sa collection d'ouvrages spéciaux qu'il avait

tant étudiés fût envoyée à l'École des Ponts et Chaussées pour être donnée en prix aux élèves.

Sa volonté a été religieusement observée : tous les livres ont été remis à M. le Directeur de l'École, et le Conseil de l'École a décidé, dans sa séance du 19 décembre dernier, que ces livres serviraient à la création de plusieurs prix qui porteraient le nom de ***Prix Watier***.

Aucun nom ne pouvait être perpétué parmi les élèves de l'École des Ponts et Chaussées comme plus digne d'être aimé et honoré par tous.

N° 17

NOTICE

SUR

LES DIVERS PROCÉDÉS DE DRAGAGE

EMPLOYÉS

DANS LES PORTS DE L'AMÉRIQUE DU NORD.

Par M. LAVOINNE, Ingénieur en chef des ponts et chaussées.

CHAPITRE Ier.

Exposé.

On sait que la plupart des ports de l'Amérique du Nord sont des ports dont la nature a à peu près fait tous les frais; que, situés en général dans des baies profondes, ils offrent aux navires d'excellents abris et de grandes facilités d'accès sans le secours de la main de l'homme; la faible oscillation des marées, qui ne devient un peu considérable que sur quelques points exceptionnels, le peu d'importance et de mobilité des barres à l'entrée des baies, viennent encore accroître ces facilités.

La construction de quais pour le transbordement des marchandises, l'enlèvement des atterrissements qui tendent peu à peu à en obstruer les abords et dont la direction de ces quais, habituellement perpendiculaire à la rive, accélère le développement, sont donc les travaux les plus habituellement entrepris pour l'amélioration des ports. Les entreprises de dragage organisées dans le but, soit d'en-

tretenir une profondeur déjà existante, soit d'accroître cette profondeur, ont pris une extension toujours croissante à mesure que le nombre, le tonnage et le tirant d'eau des navires se sont accrus. On a dû songer à la fois à approfondir et à agrandir les ports, à ouvrir et à élargir de plus en plus les passes d'accès en les prolongeant vers le large jusqu'au delà des parties abritées de la côte. En même temps, le développement de la navigation intérieure, coïncidant avec celui de la navigation maritime, entraînait sur les lacs, les rivières et les canaux, l'exécution de travaux presque aussi importants pour la rectification et l'approfondissement des chenaux, l'élargissement et le creusement des biefs, etc.

Ces diverses causes ont imprimé à l'industrie du dragage, aux États-Unis et au Canada, une activité considérable, qui s'est traduite non seulement par l'établissement d'un grand nombre d'entreprises de dragage, mais encore par l'introduction, dans le matériel employé jusqu'à ce jour, de notables innovations, qui en ont, dans une forte proportion, accru la puissance et l'effet utile.

Les divers systèmes de dragues employés aujourd'hui peuvent se rattacher à quatre types principaux :

1° Dragues à échelle;

2° Dragues à cuiller;

3° Dragues dites Clam Shells ou à mâchoires;

4° Dragues à aspiration.

Nous passerons successivement en revue ces différents types, et, après les avoir décrits, nous donnerons un aperçu des résultats de leur application dans un certain nombre de ports.

CHAPITRE II.

Description des divers systèmes de dragues.

1° DRAGUE A ÉCHELLE.

Les dragues à échelle employées en Amérique, généralement construites sur le modèle de dragues importées d'Angleterre, sont d'un type assez connu en France pour qu'il n'y ait pas lieu de s'arrêter à les décrire.

On a essayé, à New-York et à Baltimore, une drague à action continue différant des dragues à échelle ordinaires en ce que l'échelle est remplacée par une roue centrale semblable à celle d'un bateau à vapeur dont les palettes seraient remplacées par des godets. La roue a 15 mètres de diamètre; elle porte douze godets d'un demi-mètre cube de capacité chacun, et son arbre repose sur des paliers que l'on peut relever ou abaisser au moyen de verrins, suivant la profondeur à atteindre; cette profondeur peut aller jusqu'à 7 mètres. Les godets sont à fond mobile; le godet s'ouvre par le jeu d'un loquet quand il atteint le niveau du déversement placé un peu au-dessus du niveau de l'arbre moteur.

Cette drague, qui offre des détails ingénieux et qui devait, d'après le programme des constructeurs, donner un produit de 2.700 mètres cubes de déblais par jour, ne paraît avoir eu jusqu'à présent qu'un médiocre succès.

La masse à mettre en mouvement étant considérable, eu égard à la capacité des godets, le rendement en est relativement faible; on a constaté, dans des essais faits à Baltimore, qu'à égalité de dépense, elle donnait à peine le tiers du produit des dragues à cuiller.

2° DRAGUES A CUILLER.

On sait que la drague à cuiller, dont l'usage est restreint en Europe aux déblais sous l'eau de petite importance, a été adaptée par les ingénieurs américains aux grandes entreprises de dragage, grâce à l'emploi de mécanismes mus par la vapeur.

La drague à cuiller américaine reproduit tous les organes de la drague à cuiller à bras; seulement, tous ses mouvements, le mouvement de descente comme celui de relèvement de la cuiller, y sont opérés à l'aide de la vapeur, qui imprime en outre, par un mécanisme additionnel, un mouvement de rotation à la grue portant la cuiller, pour qu'elle puisse déverser son contenu dans un chaland susceptible d'occuper diverses positions le long de la drague.

L'un des meilleurs types de drague à cuiller est celui qui est connu sous le nom de drague *Osgood*, du nom de l'inventeur, qui en est resté le principal constructeur et qui y a introduit un grand nombre de perfectionnements.

Les *fig.* 1 et 2, Pl. 6, donnent la coupe longitudinale et le plan d'une drague construite sur ce type.

La coque de la drague porte sur l'avant la grue qui sert à manœuvrer la cuiller.

Cette cuiller C est en tôle à tranche acérée et d'une capacité variant de 1 demi-mètre cube à 2 mètres cubes; elle est de forme cylindrique, et le fond en est fermé par une porte s'ouvrant au moyen d'un déclanchement. La cuiller porte latéralement au milieu de sa hauteur une articulation sur laquelle est fixé le manche de la cuiller. Des chaînes de longueur variable, attachées à la cuiller de part et d'autre de l'articulation et venant aboutir sur le manche à 1 mètre environ de cette articulation, permettent de faire varier l'inclinaison de l'axe de la cuiller sur l'axe du manche.

Dans d'autres dragues, ces chaînes sont remplacées par

des bras articulés percés de trous où l'on passe des boulons pour régler l'inclinaison de la cuiller.

Celle-ci est suspendue par une anse A à un palan à trois brins au moyen duquel se fait son levage; la chaîne qui passe dans ce palan s'enroule sur deux poulies portées par le sommet de la grue élévatoire. Cette grue est composée de deux bras formant poutre armée et reliés par des entretoises. Le bras inférieur B est formé de deux moises s'appuyant d'une part sur le pivot, d'autre part contre l'extrémité supérieure des deux moises qui forment le bras supérieur B'. Une grande roue horizontale R, placée un peu au-dessus du pivot et destinée à faire pivoter la grue au moyen d'une chaîne sans fin, s'enroule sur un tambour placé à l'arrière.

Le manche de la cuiller M se compose de deux pièces jumelles passant entre les moises qui constituent les bras de la grue, et dans l'intervalle desquelles passe la chaîne de levage de la cuiller. Sous les deux pièces jumelles du manche sont fixées des crémaillères engrenant avec des pignons portés par un arbre commun O reposant sur les moises qui forment le bras supérieur de la grue. Cet arbre est embrassé en son milieu par une chape portant à sa partie supérieure deux galets qui s'appuient contre les faces supérieures des moises formant le manche.

Le même arbre porte à une de ses extrémités une roue à empreintes *r* actionnée par une chaîne Galle qui reçoit le mouvement d'un autre pignon placé plus bas et que l'on peut faire marcher dans un sens ou dans l'autre, ou encore arrêter dans une position déterminée au moyen d'un tourniquet T.

Sous le manche de la cuiller, à une certaine distance de son extrémité inférieure, est attachée une chaîne de rappel *t* qui passe un peu au-dessus du pivot de la grue pour aller s'enrouler sous un treuil spécial X à la portée du mécanicien.

Ce treuil spécial et le treuil de levage Y reçoivent le mouvement d'un arbre moteur commun Z par l'intermédiaire de roues dentées et de pignons calés sur ce dernier arbre et commandés par des manchons d'embrayage *n'* et *n''* (*fig.* 2).

Le même arbre porte, en outre, un troisième manchon d'embrayage *n* pouvant commander à volonté l'un ou l'autre des deux autres pignons *p' p''* faisant partie d'un système d'engrenages coniques qui fait tourner dans un sens ou dans l'autre le tambour D sur lequel s'enroulent les chaînes de l'appareil de rotation de la roue. Un tourniquet *t* permet aussi au besoin de faire tourner cette roue à la main. On peut enfin, à l'aide d'un frein F commandé par une bielle H H' passant sous le plancher de la drague, ralentir à volonté la rotation.

Un autre frein G manœuvré par une pédale ou un levier sert à empêcher le déroulement de la chaîne du treuil de levage sous l'action du poids de la cuiller, quand ce treuil est désembrayé.

Enfin plusieurs treuils auxiliaires manœuvrés à la main sont affectés à la manœuvre de béquilles qui tiennent le bateau en place.

Le bateau est, en effet, habituellement maintenu en position par trois béquilles K, K', K'', munies chacune de chaînes de levage et placées une en arrière et deux sur l'avant. Ces dernières sont destinées à soutenir la partie du bateau sur laquelle agit directement le poids de la grue. On soulève les béquilles quand on veut déplacer la drague.

Les machines et les chaudières sont placées en arrière des treuils et reliées à la coque par de forts sommiers; cette coque est consolidée dans sa largeur comme dans sa longueur par de fortes pièces de charpente formant poutres armées. Les machines sont à haute pression et commandent directement l'arbre moteur des treuils de manœuvre.

Pour manœuvrer la cuiller, après avoir amené la drague en position, on commence par mettre à fond les trois béquilles, généralement armées de sabots en fer, de manière à pénétrer dans le sol; ensuite le mécanicien, ayant amené par la rotation de la couronne horizontale le bâti de la grue à l'aplomb de l'endroit à draguer, débraie le treuil qui commande la chaîne de levage et laisse d'abord tomber la cuiller par l'effet de son propre poids en modérant la vitesse de chute à l'aide du frein G; puis, en embrayant le treuil de la chaîne de rappel, il ramène la cuiller vers l'avant du bateau. Pendant ce temps, un homme placé en avant fait descendre, au moyen du tourniquet T qu'il a sous la main, le manche de la drague, si cela est nécessaire pour lui faire toucher le fond; il maintient ensuite la cuiller contre le fond en continuant à agir sur le tourniquet.

Le mécanicien, de son côté, embraie alors le treuil de levage, dont la chaîne, en agissant sur la cuiller, tend à en faire tourner le manche autour de l'arbre de rotation *o* que porte le bras supérieur de la grue et fait mordre le bec du godet sur le fond. Quand l'homme de l'avant juge que le godet est rempli, il laisse le manche de la cuiller se redresser en cessant d'agir sur le tourniquet; le mécanicien, à son tour, quand la cuiller est arrivée à une hauteur suffisante, débraie le treuil de levage, embraie l'arbre de rotation qui fait tourner la couronne horizontale et amène ainsi la cuiller au-dessus du chaland qui doit en recevoir le contenu; l'homme de l'avant tire alors le loquet L qui ferme le fond de la cuiller, et celle-ci se vide. La porte du fond se referme ainsi d'elle-même à la descente.

Une évolution complète de la cuiller demande environ une minute. Pour opérer la descente et le levage de la cuiller, ainsi que sa rotation et l'arrêt complet de tout le mécanisme ou son ralentissement, le mécanicien a sous la main trois leviers d'embrayage, une pédale et un levier

commandant chacun un frein, et le régulateur qui donne la vapeur aux cylindres. L'homme placé sur l'avant a à mouvoir une roue ou tourniquet pour diriger la cuiller et une corde pour en ouvrir le fond en agissant sur le loquet L.

L'avancement ou le recul du bateau s'obtiennent facilement quand il s'agit de faibles déplacements en levant les béquilles quand la cuiller est à fond et en agissant sur le manche comme si on voulait ramener la cuiller vers le bateau ou la relever. En raidissant la chaîne de rappel, on force le bateau à marcher vers la cuiller ; en raidissant la chaîne de levage, on l'en éloigne.

On parvient ainsi, après avoir creusé dans une certaine position de la drague une première rigole en arc de cercle dont la longueur est déterminée par l'amplitude des évolutions de la grue, à faire avancer le bateau de la quantité nécessaire pour attaquer une nouvelle coupe en continuation de la première. Le bateau-dragueur n'a besoin d'être hâlé ou remorqué que s'il s'agit de se transporter à de plus grandes distances.

Le type de drague que nous venons de décrire est le plus général ; un autre type, connu sous le nom de drague *Otis* en diffère principalement par la position de la couronne horizontale servant à faire pivoter la grue et par le mode employé pour faire mouvoir le manche de la cuiller. La couronne est placée vers le sommet de l'arbre de rotation au lieu d'être placée en bas, et le mouvement du manche dans un sens ou dans l'autre est obtenu au moyen d'une chaîne, dont les deux bouts sont fixés aux deux extrémités du manche, et qui s'enroule sur un treuil mû par un engrenage que commande un levier à la portée de la main de l'homme placé à l'avant.

La position de la couronne horizontale au sommet du pivot est plus favorable à la stabilité de la grue dont les chaînes s'enroulant sur cette couronne tendent à prévenir le déversement ; mais on doit reconnaître que le système

d'agencement de la couronne avec l'arbre qui la fait mouvoir est moins solide et plus sujet à avaries que dans le type précédemment décrit.

Ce type a d'ailleurs reçu dans ces dernières années plusieurs perfectionnements introduits dans les dragues construites en 1871 et 1872 pour le port de New-York par MM. Starbuck frères, de Troy.

La *fig.* 3, Pl. 6, représente en perspective une des dragues qui ont 24 mètres de longueur, 9 mètres de large et 2m,40 de creux.

Les perfectionnements introduits sont les suivants :

1° La machine servant à produire le mouvement de rotation de la grue y est complètement séparée de celle qui actionne les treuils de levage et de rappel;

2° Le levage des béquilles est produit par des treuils mus par la vapeur;

3° Des embrayages à friction, dont le système sera décrit plus loin à l'occasion des dragues à mâchoires, ont été substitués aux engrenages primitifs à dents pour prévenir les ruptures que la mise en prise des dents occasionnait fréquemment;

4° Pour pouvoir verser les produits du dragage à une plus grande distance du point d'extraction sans accroître le porte-à-faux de la grue pendant l'extraction, on a prolongé (*fig.* 3 et 4) la flèche de la grue au delà de la jonction des deux bras au moyen d'une pièce additionnelle moins inclinée et soutenue à son extrémité libre par un tirant prenant son point d'appui sur un poinçon. Cette pièce supporte deux poulies, une fixe B sur laquelle passe un brin de la chaîne de levage et qui est adossée au poinçon, l'autre mobile A, qui peut courir jusqu'à l'extrémité de la pièce, et sur laquelle s'enroulent les deux autres brins de la chaîne.

Les deux poulies étant ramenées en B, l'extraction du déblai se fait de la manière précédemment décrite. Pour

faire avancer la poulie A de B vers l'extrémité de la grue, on imprime au manche de la cuiller un mouvement de progression en avant à l'aide d'une roue à empreintes M commandée par une chaîne Galle C, que met en mouvement une deuxième roue à empreintes E. Cette deuxième roue est à son tour commandée par une troisième F par l'intermédiaire d'une autre chaîne Galle. Entre les tambours portés par les arbres des deux dernières roues passe à frottement la chaîne de levage, et en agissant successivement sur les deux leviers I, J, on peut mettre cette chaîne en prise avec chacun des deux arbres.

Si, lorsque la cuiller est remplie, on met la chaîne de levage en prise avec l'arbre F puis avec l'arbre E, on produit le relèvement vertical de la cuiller, puis l'avancement horizontal du manche qui entraîne le galet mobile A vers l'extrémité de la grue. Une fois la cuiller vidée dans cette position, en continuant à maintenir raide la chaîne de levage, et produisant le recul du manche par une manœuvre inverse des leviers, on ramène le galet A vers B, puis on laisse dévirer la chaîne, pour remplir de nouveau la cuiller.

On parvient ainsi avec une grue de $5^{m},70$ de rayon à porter les matières draguées à une distance de 9 mètres de l'axe de la grue. Cet accroissement facultatif de la portée, dont l'invention est due à M. Osgood, est surtout avantageux, lorsqu'on a à remblayer derrière une estacade au-devant de laquelle on drague; on évite ainsi complètement le remaniement des déblais. Il entraîne toutefois une certaine complication dans l'agencement des pièces qui composent la charpente de la grue, un contre-poids devant être placé en arrière du pivot pour équilibrer la charge de manière à empêcher le bateau de prendre un mouvement de roulis pendant qu'on fait tourner la grue.

Nous avons réuni dans le tableau suivant les principaux éléments relatifs à trois types de dragues à cuiller con-

struites par la compagnie de dragage *American Dredging C^y^* de Philadelphie.

DÉSIGNATION DES PARTIES.		TYPE N° 1.	TYPE N° 2.	TYPE N° 3.
Coque.				
Longueur		19m,50	19m,20	16m,50
Largeur		7 ,80	7 ,20	5 ,40
Creux		2m,10	1m,80	1m,50
Poids		27 t.	21 t.	18 t.
Chaudières horizontales et tubulaires.				
Longueur		4m,28	3m,60	3m,45
Largeur		1 ,23	1m,10	0 ,90
Hauteur		1 ,54	1 ,45	1 ,20
Nombre de tubes		44	33	22
Diamètre		0m,075	0m,075	0m,075
Longueur		2 ,25	2 ,15	2 ,25
Machines de levage à 2 cylindres.				
Diamètre		0m,25	0m,20	0m,15
Course du piston		0 ,40	0 ,375	0 ,375
Pression		5 à 6 atm.	5 à 6 atm.	5 à 6 atm.
Nombre de révolutions par minute		150	150	150
Force nominale en chevaux		60 ch.	40 ch.	25 ch.
Machines de l'appareil de rotation à 2 cylindres.				Commande directe de l'arbre principal.
Diamètre		0m,15	0m,15	
Course		0 ,30	0m,30	
Poids des machines, y compris chaudière et grue		21 t.	18 t.	15 t.
Cuiller	Capacité	1m³,90	1m³,10	0m³,75
	Poids	1.200 k.	800 k.	500 k.
Diamètre des chaînes de	Levage	0m,027	0m,025	0m,020
	Rotation	0 ,022	0 ,020	0 ,015
Combustible brûlé en un jour de travail de 10 heures (charbon bitumineux ou anthracite)		1.000 k.	750 k.	500 k.
Salaire journalier du personnel de la drague, composé de : 1 mécanicien, 1 chauffeur et 3 manœuvres		35 fr.	»	»
Prix d'une drague		115.000 fr.	99.000 fr.	80.000 fr.
Travail journalier dans la vase peu compacte		900m³	600m³	375m³
Usure et réparation		10 p. 100 par an.		

Les avantages que présente la drague à cuiller sur la drague à échelle sont les suivants :

1° Elle n'élève les déblais qu'à la hauteur strictement nécessaire;

2° Elle se prête à toutes les sujétions qui peuvent résulter de la forme plus ou moins compliquée des fouilles et du voisinage des navires dans les bassins. La cuiller peut pénétrer en quelque sorte partout, sans qu'il soit nécessaire, comme pour la drague à échelle, d'amener le bateau dragueur sur l'emplacement même où il s'agit de draguer, ni de le tenir sur des ancres dont les chaînes peuvent être une gêne pour les mouvements de la navigation;

3° Ses organes sont plus simples, d'une réparation plus facile, et d'une manœuvre plus sûre et moins brutale que ceux de la même drague;

4° Elle permet, en imprimant une direction convenable au manche de la cuiller dans les différentes phases de son évolution, de rendre son action sur le fond plus efficace et son remplissage plus complet, lorsque le terrain est d'une désagrégation difficile.

Elle est inférieure à la drague à échelle en ce que son action, étant discontinue, se prête moins bien, lorsqu'il s'agit de draguer de vastes étendues de terrain présentant une résistance uniforme, à la pleine utilisation de la force motrice et au dressement régulier des surfaces draguées. Par contre, il est clair que si les circonstances du travail le rendent forcément discontinu, la drague à échelle perd les principaux éléments de sa supériorité et qu'elle peut devenir d'un emploi moins économique que la drague à cuiller.

Aucun de ces deux systèmes de dragues n'est d'ailleurs susceptible d'exécuter un bon travail à la mer avec de la houle.

L'échelle de la drague continue en se soulevant fait lâcher prise aux godets, et la machine s'emporte pour éprouver ensuite un ralentissement brusque au moment où l'échelle vient de nouveau toucher le fond; le travail utile

diminue considérablement en même temps que les chances d'avarie augmentent.

La drague à cuiller, opérant avec son godet unique, est évidemment sujette aux mêmes inconvénients, et le système de béquilles au moyen desquelles le bateau se fixe sur le fond est encore moins compatible que le système d'amarrage de la drague à échelle avec une agitation même faible de la mer. L'une et l'autre drague ne comportent enfin que des profondeurs d'extraction assez limitées.

3° DRAGUES A MACHOIRES DITES CLAM SHELLS.

Ce système de drague, qui n'est également qu'un perfectionnement d'un procédé de dragage connu depuis longtemps, s'est beaucoup développé dans ces dernières années, et il tend à se substituer de plus en plus à la drague à cuiller qui, bien qu'elle réalise dans le matériel et le personnel une simplification constituant déjà un véritable progrès, ne laisse pas que d'avoir des organes encore assez compliqués et d'entraîner une multiplicité de manœuvres exigeant de la part du mécanicien une attention et une adresse toutes particulières.

La drague à mâchoires consiste à proprement parler dans la réunion de deux cuillers formant chacune un quart de cylindre, que l'on écarte d'abord l'une de l'autre pour les faire pénétrer dans le sol sous l'action de leur poids, et que l'on rapproche ensuite pour les remonter verticalement avec les matières que l'on y a enfermées.

Il existe aujourd'hui un très grand nombre de variétés de cette drague; nous en décrirons les types les plus usités.

Dragues Morris et Cumings. — L'une des plus anciennes et des plus simples est la drague Morris et Cumings décrite dans l'ouvrage de M. Malézieux. Un cadre vertical C', C' (Pl. 6, *fig.* 5 et 6), suspendu à une grue porte à sa partie infé-

rieure deux arbres A, A′ parallèles séparés par une faible distance, autour desquels tournent deux tambours formant chacun un quart de cylindre qui peuvent se rejoindre par le bas. Au-dessus de ces deux arbres est un troisième arbre A″ également fixé sur le cadre, qui porte en son milieu une poulie d'un certain diamètre et vers les extrémités des poulies plus petites. Un quatrième arbre A‴ mobile dans deux rainures que présente le cadre vertical est relié aux deux fonds verticaux de la caisse par des bras articulés ayant leurs points d'attache B,B′ sur le contour extérieur de la caisse; cet arbre est en outre relié à l'arbre fixe inférieur par des chaînes de rappel s'enroulant sur les petites poulies de ce dernier arbre : il peut être soulevé par une chaîne (Pl. 7, *fig.* 1, 2 et 3), fixée à une extrémité sur l'arbre A‴, qui passe sur une poulie portée par la grue et s'enroule sur un premier treuil de levage T; une autre chaîne, actionnant la grande poulie de l'arbre fixe de commande, sur la gorge de laquelle est fixée l'une de ses extrémités, et passant sur une autre poulie fixe au sommet de la grue, s'enroule sur un second treuil T′ dont l'axe est placé sur le prolongement de l'axe du premier. Habituellement, le cadre vertical est surmonté de deux perches glissant dans des étriers portés par la flèche de la grue qui servent de guides à ce cadre dans son mouvement de descente, en même temps que de poids additionnel pour faciliter l'enfoncement de la caisse, et de sondes pour la mesure des profondeurs : on les supprime généralement dans les dragages profonds.

On se sert pour fixer le bateau dragueur en place de béquilles, comme pour la drague à cuiller : on se contente parfois d'une seule béquille placée près de l'arbre de rotation de la grue.

La drague étant amenée à l'endroit convenable et la caisse remontée, on ouvre celle-ci en dévirant d'abord la chaîne de l'arbre fixe A″, puis on laisse tomber la caisse sur le fond en dévirant simultanément les deux chaînes. Sous

l'action de leur poids, les deux parties de la caisse dont les bords inférieurs se présentent presque verticalement sur le fond à draguer, pénètrent dans le sol; l'arbre mobile supérieur est alors rejeté par la pression du sol au sommet de sa course. Pour fermer la caisse en rapprochant les deux bords des tambours, on vire sur la chaîne de l'arbre fixe; la traction de cette chaîne, que l'écartement des deux arbres avait fait enrouler sur la grande poulie, amène, par l'intermédiaire des petites chaînes de rappel enroulées en sens inverse, le rapprochement de ces arbres, et par suite la fermeture de la caisse où se trouve ainsi enfermée la matière détachée du sol : si l'on continue à agir sur la chaîne de la grande poulie, comme la traverse mobile est à fond de course, la poulie ne tourne plus et la caisse remonte.

Si maintenant, quand la caisse est arrivée ainsi fermée à la hauteur convenable pour le déversement, les deux chaînes se trouvant alors tendues, on imprime à l'une ou à l'autre de ces chaînes, qui vont s'enrouler sur des treuils placés à une certaine distance de part et d'autre de l'axe de la grue, un léger excédant de traction, insuffisant toutefois pour amener l'ouverture de la caisse, on fait tourner celle-ci dans l'un ou l'autre sens et on peut l'amener au droit d'une gabarre dans laquelle on la vide en tirant sur la chaîne de l'arbre mobile.

Une légère traction opérée sur l'autre chaîne ramène ensuite la caisse dans sa position primitive.

Pour limiter le parcours horizontal de la grue, on se sert d'un bras spécial R assemblé avec la flèche, qui vient porter contre des linguets en bois articulés autour de points disposés en arc de cercle que l'on fixe à l'aide de fiches.

Pour manœuvrer la drague, le mécanicien a sous la main deux leviers qui servent à embrayer l'un ou l'autre treuil et le papillon donnant la vapeur aux machines de l'un et de l'autre : un manœuvre est préposé au règlement du mouvement latéral de la grue. Des treuils auxiliaires, aux-

quels l'arbre des treuils principaux donne le mouvement par des engrenages, servent à haler et déhaler le bateau, ainsi qu'à lever les béquilles.

La flèche est en général susceptible de varier par l'allongement ou le raccourcissement de la chaîne supérieure; les perches directrices du cadre vertical de la drague sont disposées en diagonale à l'extrémité de cette flèche, de manière à donner au cadre une certaine stabilité en le reliant directement à la flèche.

Pour une position de la drague, la cuiller à mâchoires découpe dans le terrain une série de segments cylindriques de même largeur correspondant chacun à la position donnée à la grue au moment de la descente de la caisse et venant s'aligner sur l'arc de cercle que l'on fait décrire au sommet de la flèche de la grue. Quand on a tracé un premier sillon dans une certaine position du bateau, on relève les béquilles pour faire avancer ou reculer celui-ci en le halant sur des amarres portées sur l'avant ou l'arrière, et on creuse un deuxième sillon parallèle au premier.

Le déplacement du bateau, quand il s'agit de passer d'un sillon à un autre, peut également s'obtenir avec la plus grande facilité au moyen de la cuiller seule. On laisse tomber celle-ci dans le prolongement de l'axe AB du bateau (Pl. 6 *fig.* 8); puis on lève les béquilles et on agit sur l'une des chaînes de levage comme si l'on voulait faire tourner la grue; le bateau est ainsi obligé de tourner autour de la cuiller comme centre et amené dans une position A'B' oblique par rapport à sa première position. On le redresse et on l'amène en A"B" par une manœuvre semblable en relevant la cuiller, la laissant tomber de nouveau dans l'axe du bateau et agissant sur l'autre chaîne de levage de la même manière que sur la première.

On voit que par suite de l'emploi de ce procédé d'extraction essentiellement discontinu les surfaces draguées doivent présenter des irrégularités qui tendent à dispa-

naître d'elles-mêmes quand les matières composant le fond sont suffisamment meubles, mais qui, lorsque ce fond possède une certaine consistance, peuvent n'être pas sans inconvénient.

Dans ce dernier cas, les bords inférieurs des mâchoires sont armés de dents pour déchirer le terrain. Quand il s'agit de draguer des pierres, on substitue à l'enveloppe pleine de la caisse une simple ossature (Pl. 6, *fig.* 7). On parvient ainsi à extraire des blocs de dimensions considérables; c'est le procédé usuel dont on se sert pour l'enlèvement des roches désagrégées par des mines sous-marines.

Si l'on analyse en détail l'action de la drague à mâchoires, on voit que sa pénétration dans le sol est déterminée par son poids, et que la fermeture de la caisse est obtenue à l'aide d'un effort de traction qui est principalement limité par ce poids, à l'opposé duquel il agit. Pour que la caisse qui commence à pénétrer dans le sol ne tende pas à se soulever et à remonter avant d'être remplie, il faut que cet effort de traction ne dépasse pas le poids du tambour augmenté de l'effort nécessaire pour vaincre la résistance au soulèvement résultant de la pénétration des mâchoires dans le sol. Si la résistance à la fermeture est grande, il y aura donc lieu, pour que la drague fonctionne convenablement, ou d'augmenter le poids de la caisse, ou d'accroître la force de fermeture par une disposition qui transforme le travail de la traction, sans entraîner une augmentation de celle-ci. C'est ce qui se réalise dans la drague Clamshell, où la transformation se fait au moyen d'un système de poulies de diamètres décroissants qui permet de multiplier dans un certain rapport la force transmise. Il est clair qu'il en résulte une augmentation correspondante de parcours pour la chaîne de traction qui accroît dans le même rapport la durée de la fermeture.

Suivant que la résistance du terrain est plus ou moins grande, il conviendrait donc de faire varier le poids de la

caisse ou le rapport entre les diamètres des poulies cal sur l'arbre fixe. Remarquons en passant que la forme el tique des mâchoires, en forçant leur surface extérieur s'écarter des bords de la fouille creusée à mesure qu' s'approfondit, empêche cette résistance de croître par l'e de l'adhérence.

On doit en outre se préoccuper, suivant les cas, des riations que peut présenter la force de fermeture pend la durée de cette opération, et de la direction des bords mâchoires au moment où ils commencent à entamer fond. Pour les terrains de faible consistance, ces variati ont peu d'importance, et l'on doit surtout chercher à croître l'ouverture des mâchoires au début; pour les autr il convient que la force de fermeture ne subisse à auc moment une trop grande diminution, et que la pénétrati initiale des bords soit favorisée par une certaine inc naison sur la verticale.

Dans la drague Morris et Cumings (Pl. 6, *fig.* 6), ce inclinaison existe, et la force de fermeture varie peu pend tout le temps de la fermeture, sauf vers la fin où la dim nution devient sensible, parce que les bras articulés se so rapprochés des arbres de rotation des mâchoires; cette d minution offre toutefois moins d'inconvénient à ce mome qu'à un autre, parce que la résistance à vaincre a au diminué. Somme toute, la simplicité des organes de ce drague assure son bon fonctionnement dans la plupart d cas, et une longue expérience en a consacré l'emploi s les chantiers de dragage les plus importants.

C'est avec des dragues du système Morris et Cumin qu'ont été effectuées les extractions par les puits à ferm ture hydraulique du caisson foncé à l'air comprimé de pile (côté de Brooklyn) du grand pont suspendu sur l'Ea River, à New-York.

Nous donnons, *fig.* 4 et 5, Pl. 7, les dessins de l'une d ces dragues, qui, ainsi que le rapporte M. Malézieux dan

son *Mémoire sur les fondations à l'air comprimé*, enlevaient chacune, à des intervalles de quatre minutes en moyenne, un cube de $1^m,10$ environ à une profondeur de 15 mètres sous l'eau.

Le cadre supportant les mâchoires était simplement suspendu à la double chaîne de manœuvre, sans perches de direction. Ainsi qu'on le voit par les dessins, les bords des mâchoires étaient armés de dents destinées à faciliter la désagrégation du sol. Ces dents ont bien rempli leur but jusqu'à un certain point; mais elles avaient l'inconvénient, pour peu qu'il vînt à s'y interposer quelques pierres, d'empêcher la fermeture, en sorte que le godet se vidait parfois avant de remonter à la surface de l'eau.

On a pu néanmoins s'en servir avec un certain avantage pour extraire des couches d'argile mêlées de pierres dont l'enlèvement, au dire des ingénieurs chargés de la direction des travaux, eût présenté tout autant de difficulté par tout autre procédé.

Pour l'enlèvement des blocs, on s'est servi d'une variété de la drague Morris et Cumings, où le double tambour en tôle est remplacé par une simple ossature, ainsi qu'on le voit par la *fig.* 7, Pl. 6; on est parvenu à extraire ainsi des blocs pesant jusqu'à 15 tonnes.

Drague Curtis, Fobes. — Les autres dragues du type dit Clam Shell diffèrent surtout de la drague Morris et Cumings par le mode de fermeture. Dans la drague construite par MM. Curtis, Fobes et Cie, *fig.* 11, Pl. 6, la coulisse et l'arbre mobile servant à l'ouverture de la caisse sont supprimés. Le cadre de suspension porte trois arbres fixes placés sur la même verticale; les mâchoires tournent autour de l'arbre inférieur, et leur contour extérieur est relié à l'arbre supérieur par des bras articulés sur lesquels agissent, au sommet des angles qu'ils forment deux à deux, des chaînes de rappel s'enroulant sur de petites poulies portées par l'arbre intermédiaire. Une grande poulie mon-

tée sur le même arbre reçoit la chaîne de fermeture. De bouts de chaîne, attachés au sommet du contour extér des tambours et se réunissant en haut à une chaîne uniqu servent à l'ouverture.

Ce système de suspension évite, il est vrai, les frotte ments considérables auxquels donne lieu, dans la drag précédente, le glissement de l'arbre dans sa coulisse, ma il est d'une construction plus compliquée et moins robu la force de fermeture y diminue, en outre, beaucoup p sur la fin, et, comme la hauteur totale du tambour et cadre est plus grande, elle entraîne pour la grue une a mentation de hauteur. Cette drague paraît néanmoins d ner d'assez bons résultats dans les terrains de résist moyenne.

Drague Symonds (*fig.* 12). — Un autre système, q l'on doit à M. Thomas Symonds, paraît surtout appro aux dragages par des fonds de vase peu consistants. L deux mâchoires, fixées chacune à l'extrémité de bras d'armatures tournant, l'une autour d'un arbre inféri mobile, l'autre autour d'un arbre supérieur fixe, présent entre elles, au moment où elles tombent sur le fond, u très grand écartement. Pour les rapprocher, on agit s une grande poulie calée sur l'arbre inférieur de rota des tambours au moyen d'une chaîne que l'on tire d haut; sur le même arbre sont deux poulies plus petites s'enroulent des chaînes de rappel dont le bout est fixé dessous de l'armature supportant les deux arbres s rieurs. Des bouts de chaîne attachés et réunis comme d la drague précédente produisent l'ouverture.

Cette drague, par sa grande ouverture initiale, perm d'entamer au début une très large coupe; mais, com l'effort de fermeture diminue très rapidement du commen cement à la fin et qu'elle tend à se soulever dans la p riode de la fermeture au lieu de s'enfoncer, comme le f les dragues précédentes, elle ne peut convenir qu'aux t

rains peu résistants; ses grandes dimensions se prêtent d'ailleurs difficilement à une construction solide.

Drague Both (*fig.* 9). — M. Both, ingénieur auxiliaire du gouvernement des États-Unis, a perfectionné, en vue de son emploi dans les terrains résistants, la drague de MM. Morris et Cumings, en y ajoutant des organes nouveaux. Il conserve la coulisse et l'arbre mobile supérieur, ainsi que les bras articulés reliant cet arbre aux bords extérieurs des tambours; mais, au lieu de faire tourner ceux-ci autour d'arbres fixés sur le cadre de suspension, il relie les oreilles intérieures des tambours à des bras tournant autour de nouveaux arbres ajoutés à ce cadre et placés au-dessus de l'arbre de la grande poulie; les arbres que portent les oreilles extérieures des tambours sont eux-mêmes reliés à ce dernier arbre par des bras articulés. Des pignons calés sur le même arbre commandent des roues dentées calées sur l'un des arbres immédiatement supérieurs qui porte de petites poulies où s'enroulent les chaînes de rappel de l'arbre mobile.

Le but de ces dispositions est d'accroître dans une plus forte proportion la force de fermeture et de maintenir ses variations dans des limites plus étroites en forçant les bras articulés supérieurs à conserver toujours sensiblement la même direction et la même distance par rapport à l'axe de rotation, cette fois mobile, des tambours. Ce double but est certainement atteint, mais au prix d'une complication d'organes qui atténue notablement les bons efforts de ce nouvel agencement et qui accroît les chances d'avarie. Bien que l'essai qui a été fait il y a quelques années de ce système de drague dans la rade de Boston ait été satisfaisant, l'usage ne paraît pas s'en répandre.

Drague Hall (*fig.* 10). — Parmi les nouvelles dragues du type Clam Shell essayées dans ces dernières années, nous citerons encore la drague du système Hall adoptée par l'*American Dredging Company*, de Philadelphie, qui se

distingue par la simplicité de sa construction. La coulisse et l'arbre mobile sont supprimés; le cadre de suspension porte au-dessous de l'arbre qui reçoit la grande poulie de commande deux autres arbres autour desquels s'effectue la rotation des deux parties du tambour. Ces arbres portent à chacune de leurs extrémités des poulies de renvoi sous lesquelles passent des chaînes de rappel reliant l'arbre principal aux oreilles extérieures des tambours. D'autres chaînes fixées au milieu des bords supérieurs des deux parties du tambour servent à l'ouverture.

Cette drague est d'une construction plus simple que les autres: la caisse, tout en présentant une large ouverture initiale, est compacte; tous les organes de la drague sont d'une réparation facile; enfin la force de fermeture y est sensiblement constante pendant toute la durée de la fermeture. Toutefois, il y a lieu d'observer que le système de poulies de renvoi qui le caractérise est moins favorable à la transmission des forces que l'agencement des pièces de la drague Morris et Cumings, où cette transmission se fait beaucoup plus directement par les bras articulés.

Drague Holroyde (*fig.* 13). — La drague-grappin d'Holroyde est employée avec succès pour l'extraction des blocs; le parallélogramme articulé dont le redressement ou l'abaissement produisent la fermeture ou l'ouverture des pinces y est limité dans sa course verticale par un système de cisailles qui, avec les portes dont on peut garnir aux deux extrémités la carcasse du tambour, en rendent l'emploi commode pour l'extraction des fragments de toute dimension.

Nous indiquerons enfin comme dernier perfectionnement apporté à la construction de la caisse la forme demi-sphérique donnée à sa partie inférieure par l'*American Dredging Company* dans le but d'accroître le cube de la tranche découpée à égalité de surface tranchante.

Système spécial d'embrayage à friction (*fig.* 14). — Nous

signalerons aussi une disposition adoptée par cette compagnie dans la construction des embrayages à friction des treuils de manœuvre. Le tambour où s'enroule la chaîne de levage tourne librement sur l'arbre moteur et porte à l'une de ses extrémités un disque d'un grand diamètre ; sur l'arbre moteur est, en outre, calé invariablement du même côté, un autre disque qui peut être rapproché du premier par l'action d'un levier ; entre les joues intérieures de ces disques sont placées des bandes annulaires et alternatives de fer et de bois, qui, se trouvant ainsi graduellement pressées, déterminent par l'effet de la friction l'embrayage du tambour ; un ressort écarte les deux disques et produit le débrayage quand on cesse d'agir sur le levier. Ce système d'embrayage mérite d'être recommandé pour sa solidité et l'économie qu'il procure à l'usage.

Le tableau suivant contient diverses indications sur la construction et le travail des dragues Clam Shells, telles qu'elles sont établies par les principaux constructeurs.

Les *fig.* 6, 7, 8 et 9, Pl. 7, indiquent les principales dispositions du type construit par l'*American Dredging Company*, de Philadelphie :

DÉSIGNATION des objets.	DRAGUE Morris et Cummings. 1er type.	2e type.	DRAGUE Symonds (Portland Cy). 1er type.	2e type.	3e type.	DRAGUE American dredg… 1er type.
Coque.						
Dimensions :						
Longueur	25m,00	19m,50	»	»	»	30m,00
Largeur	9 ,60	7 ,50	»	»	»	10 ,00
Creux	2 ,70	2 ,40	»	»	»	2 ,70
Tirant d'eau	0 ,80	0 ,80	»	»	»	1 ,20
Poids	»	»	»	»	»	65 t.
Machines de levage.						
2 cylindres.						
Diamètre	0m,40	0m,25	0m,40	0m,35	0m,30	0m,40
Course du piston	0 ,45	0 ,375	0 ,60	0 ,50	0 ,45	0 ,60
Diamètre des tambours des treuils	0 ,90	»	»	»	»	–
Pression	»	5 à 6 atm.	»	»	»	»
Nombre de révolutions par minute	»	125 à 150	»	»	»	»
Force nominale en chevaux-vapeur	100 ch.	40 ch.	125 ch.	95 ch.	60 ch.	125 ch.
Système de chaudières	tubulaire.	horizontale.				
Cuiller.						
Capacité	2m3,60	1m3,10	3m3,00	2m3,25	1m3,50	3m3,75
Poids	2.200 k.	1.000 k.	»	»	»	5.400 k.
Portée de la flèche de la grue au delà du bateau	4 mèt.	»	»	»	»	»
Diamètre des chaînes de levage	0m,03	0m,027	0m,035	0m,030	0m,027	0m,035
Prix de revient.						
Coque	(en bois) 45.000 fr.	(en bois) 34 000 fr.	»	»	»	(en fer) 90.000 fr.
Machines et drague	140.000	78.500	45.000 f.	40.000 f.	36,000 f.	85 500
	185.000 fr.	112.500 fr.	non compris la coque ni la chaudière.			175.600 fr.
Combustible brûlé en un jour de travail de 10 heures	1t,50	1t,00	2t,00	1t,50	1t,25	2t,00
Travail par heure dans la vase moyennement compacte	de 150 à 300m3	de 75 à 110m3	300m3	200m3	80m3	260m3

Le matériel des dragues construites par MM. Morris et Cumings comprend un certain nombre de treuils supplémentaires et d'apparaux pour la manœuvre du bateau qui en augmentent le prix.

Les dragues de 100 chevaux de force et au-dessus sont manœuvrées par 6 ou 7 hommes d'équipage; pour les dragues moins fortes, on peut se contenter de 4 ou 5 hommes.

En général, dans des profondeurs de 5 à 7 mètres, il ne faut pas plus de 30 secondes pour une révolution complète de la drague.

Dans les grandes profondeurs, on supprime les béquilles, et les perches servant de guides au cadre supérieur de la caisse : le bateau est alors tenu sur des ancres; les béquilles peuvent être également supprimées lorsque la houle est trop forte.

Un certain nombre d'entrepreneurs de dragues se contentent d'une seule béquille placée à l'avant, et se tiennent à l'arrière avec des ancres.

Les avantages de la drague à mâchoires sur les deux autres systèmes de dragues précédemment décrits peuvent se résumer ainsi qu'il suit :

1° Organes simples, peu exposés à la fatigue et d'une réparation facile : les pièces les plus sujettes à se rompre sont les poulies de renvoi des chaînes de levage placées de part et d'autre de l'arbre de la grue, dont il suffit d'avoir le rechange pour éviter les principales causes d'arrêt. Si une des chaînes de levage vient à casser, on peut toujours relever la caisse avec l'autre chaîne.

2° Plus grand effet utile par suite de la simplification des organes.

3° Possibilité de draguer verticalement et à de très grandes profondeurs.

4° Possibilité de travailler dans des rades non abritées. Le remplissage de la caisse se faisant surtout par l'action de son poids ne peut se ressentir que faiblement de l'agitation de la mer : l'effet du ressac peut seulement l'empêcher parfois d'être complet en précipitant la fermeture de la caisse. On peut dire que la drague à mâchoire est essen-

tiellement marine en ce qu'elle n'accomplit qu'une opération tout à fait semblable au mouillage et au relevage d'une ancre, opération que tous les navires sont en mesure de faire par les gros temps.

5° Adaptation facile à l'extraction rapide et économique des blocs de toutes dimensions sous l'eau. On sait que l'enlèvement des blocs même de dimensions médiocres est extrêmement lent et coûteux quand il doit se faire après chaînage à l'aide du scaphandre, comme cela a lieu souvent avec l'emploi des mines sous-marines.

L'emploi de la drague à mâchoires n'est toutefois susceptible de s'appliquer avantageusement qu'autant qu'il s'agit d'extraire des coupes assez fortes, et que les terrains à extraire sont peu résistants. Dès que le terrain présente un certain degré d'agrégation, l'action de la pesanteur est insuffisante pour y faire pénétrer les bords des mâchoires ; ces bords ne font plus pour ainsi dire que râcler le fond, et il faut avoir recours aux autres dragues. L'argile très compacte, surtout lorsqu'elle est mélangée à du sable et à du gravier de manière à former le terrain que les dragueurs appellent *hard pan*, est difficilement attaquée par la drague à mâchoires, tandis qu'elle cède assez facilement à l'action de la drague à cuiller. Dans le sable fin agglutiné par de la vase, son rendement diminue aussi notablement. Les graviers et les galets mobiles se prêtent mieux à son emploi. Nous donnerons plus loin quelques chiffres relatifs à cet emploi dans divers terrains.

4° DRAGUES A ASPIRATION.

Drague Henry Burden. — Les ingénieurs du gouvernement des États-Unis emploient avec succès depuis plusieurs années, pour approfondir les passes à fond de sable que l'on rencontre à l'embouchure des rivières de Georgie et de Virginie, des dragues à succion dont le type le plus

perfectionné était en 1876 le bateau dragueur Henry Burden (*fig.* 15 à 19, Pl. 8).

Ce bateau est un vapeur à aubes de 40 mètres de longueur, $12^m,40$ de largeur au maître-bau, tirant $2^m,10$ d'eau à pleine charge et portant une machine de 120 chevaux. Ce vapeur fait à la fois l'office de dragueur et de porteur.

Sur le pont du bateau est installée une pompe centrifuge, qui aspire le sable en arrière du bateau au moyen d'un tuyau flexible. L'extrémité de ce tuyau qui plonge dans l'eau est supportée par une herse dont les dents traînent sur le fond et mettent le sable en mouvement lorsque le bateau marche. Le sable aspiré vient se déverser dans une série de trémies par des portes que l'on ouvre successivement sur le parcours d'un auget qui règne sur toute la longueur du pont.

Quand les trémies sont pleines, on relève le tuyau d'aspiration au moyen d'un système de bigues installées à l'arrière du bateau, et on conduit celui-ci au lieu de déchargement. Cette opération se fait en levant les soupapes dont les trémies sont munies.

Divers systèmes de clapets permettent de maintenir le tuyau d'aspiration en charge pendant son relèvement et d'y introduire de l'eau pour le dégager en cas d'obstruction.

On recouvre parfois la herse, qui est en forme de raquette d'une feuille de tôle pour diminuer l'entrée de l'eau et accroître l'effet de la succion sur le fond. L'extrémité de la herse reste plus ou moins ouverte suivant la nature du fond sur lequel on veut agir. Le couvercle est complètement supprimé quand on travaille dans le sable.

Cette drague a donné un produit de 50 mètres cubes par heure. On espérait accroître ce produit en substituant, au double tuyau qui conduit les matières draguées dans l'auget de déversement, un tuyau unique qui rendrait les

obstructions moins fréquentes; une substitution semblable a déjà été faite avec succès pour le tuyau d'aspiration dont les deux branches primitives de $0^m,15$ de diamètre ont été remplacées par un tuyau unique de $0^m,225$.

Une pompe à sable de même système, installée sur un vapeur employé aux travaux de canalisation de la rivière de Cape Fear (Virginie), a produit un cube moyen de dragage de 115 mètres cubes par jour, qui est revenu à une moyenne de $1^f,60$ par mètre cube. Il y a lieu de remarquer que cette drague, travaillant sur un banc fort exposé à la houle, était fréquemment obligée de s'arrêter.

En 1877, une drague également construite d'après le même type, mais sur des dimensions beaucoup plus considérables, le G. W. R. Bailey, a été mise en activité aux travaux d'amélioration de l'embouchure du Mississipi. Cette drague est portée par un vapeur à aubes tout en fer présentant les dimensions suivantes :

	mètres
Longueur	56,90
Largeur maxima	9,60
Creux	3,00
Tirant d'eau avec plein chargement de charbon	1,50

Cet engin est destiné à travailler sur les parties de la barre les plus exposées à la houle. Le bateau est muni d'un gouvernail à chaque extrémité, et il présente à l'arrière un puits de $1^m,20$ de largeur pour recevoir le tuyau d'aspiration qui a $0^m,67$ de diamètre, et une longueur suffisante pour atteindre des fonds de $8^m,40$ avec une inclinaisn de 30°.

L'aspiration est produite par une pompe centrifuge de $1^m,80$ de diamètre; les matières aspirées sont versées dans quatre trémies, cloisonnées seulement dans leur partie inférieure et pouvant à volonté se décharger par le bas ou latéralement. Les trémies peuvent contenir au niveau des

cloisons 325 mètres cubes et au niveau de leur bord supérieur 384 mètres.

Après une série de tâtonnements, on s'est arrêté, pour la partie inférieure du tuyau d'aspiration, à prolonger tout uniment ce tuyau en lui faisant faire un demi-tour sur lui-même à l'extrémité, et l'évasant de manière à porter sa largeur à $1^{m},20$ sans changer sa direction. C'est le bord inférieur de cette partie arrondie qui attaque le fond à mesure que la drague avance. L'eau qui doit être mélangée au sable pour faciliter l'aspiration de celui-ci pénètre par un orifice placé à l'arrière de l'extrémité arrondie du tuyau, dont on régle à volonté la section qui doit être trois fois plus grande pour la vase que pour le sable.

Le Bailey en travaillant 13 heures par jour, lorsqu'il y avait de la houle accomplissait environ 39 opérations de charge, transport et décharge, soit 3 par heure, et extrayait environ 1.000 mètres cubes. Il fallait 10 minutes pour remplir les trémies; on continuait ensuite à pomper pendant 7 minutes pour leur faire atteindre leur pleine charge de matières solides. L'eau pompée entraînait en poids 9 p. 100 de matières solides, et en volume 4,77 p. 100. Ces chiffres s'appliquent seulement à l'extraction du sable; les résultats sont moins favorables encore avec la vase dont le tassement dans les trémies donne lieu à quelques difficultés pour la décharge. (9e *rapport au gouvernement fédéral sur les travaux d'amélioration du Mississipi en* 1878.)

DRAGUE HYDRAULIQUE DU SYSTÈME NEWTON.

Un système de drague dont le fonctionnement repose sur le même principe est construit depuis 1876 par M. Newton, qui a fourni déjà plusieurs dragues de ce système pour les ports de Chicago et de Galveston (Texas). Cette nouvelle drague diffère principalement de celle qui vient d'être décrite par le moyen employé pour la désa-

grégation des matières à aspirer. Au lieu d'être produite à l'aide du mouvement de translation du bateau, elle est obtenue sur place au moyen de jets d'eau à haute pression qui détachent les matières du fond, les divisent, les mettent en suspension et produisent des remous qui les entraînent vers l'orifice du tuyau d'aspiration. Un mouvement giratoire est communiqué à l'eau ainsi lancée dans le but de produire des tourbillons qui facilitent la tenue en suspension des matières désagrégées, en même temps que l'on peut au besoin imprimer à la drague un double mouvement longitudinal et transversal pour déterminer des courants qui activent la désagrégation et accélèrent l'introduction des matières dans un tuyau où leur aspiration est obtenue par la condensation de la vapeur.

M. Newton a bien voulu nous communiquer les dessins de la drague qu'il a construite dans ce système pour le port de San-Francisco, et qui sont reproduits Pl. 8.

Coque. — La coque (*fig.* 1, 2, 3, Pl. 8) a 22^m,30 de long, 9 mètres de large et 2^m,40 de creux; l'avant est incliné; les côtés et l'arrière, verticaux; le fond est constitué par de fortes poutres en bois de sapin de 0,30/0,30 d'équarrissage, sur lesquelles est cloué le bordage.

A partir de l'arrière, règne, sur une longueur de 7^m,50, un puits vertical dont l'axe coïncide avec celui du bateau. A l'avant, une béquille verticale, que l'on peut affaler à l'aide d'un treuil, sert, comme dans les dragues déjà décrites, à fixer la drague en place et aussi de pivot pour les évolutions de cet engin.

Les chaudières BB' sont placées un peu en arrière du centre de la coque. Elles sont cylindriques, à carneaux intérieurs et à retour de flamme; elles présentent 122 mètres de surface de chauffe et sont éprouvées à 11 atmosphères 1/2 pour marcher à 8 atmosphères.

Machines à vapeur. — Une pompe foulante P du système Blake, à action directe, à deux cylindres avec corps de

pompe conjugués, de $0^m,60$ de diamètre et $0^m,60$ de course, et battant 120 coups par minute, est installée en avant des chaudières et est destinée à alimenter les trois lances à eau comprimée au moyen desquelles est produite la désagrégation des déblais, et à fournir l'eau qui sert à la condensation de la vapeur dans les cylindres de vide qui seront décrits plus loin.

L'eau est puisée par un tuyau *o* muni d'une crépine en avant des pompes. La vapeur est fournie aux cylindres de la pompe par un tuyau *h*, *h'*, et l'échappement se fait par un tuyau vertical *r*; la vapeur se rend aux cylindres de vide par un autre tuyau *v*, *v'*, *v''*. L'eau est fournie par la conduite *w*, *w'*, *w''*.

Cylindres de vide. — Ces deux cylindres C, C', de vide (*Vacuum cylinders*), sont placés à l'arrière, de chaque côté du puits central, à $1^m,45$ l'un de l'autre. Ils ont un diamètre intérieur de $1^m,25$, une hauteur de $1^m,65$, et présentent une capacité de 2 mètres cubes. Ils sont garnis de douves en bois sur leur pourtour et reliés l'un à l'autre vers leur sommet par une conduite T de section elliptique, placée à cheval sur le puits.

Cette conduite s'ouvre à l'intérieur de chaque cylindre de vide; à son orifice est une soupape S. Cette soupape est plate et formée par un disque en bois garni sur son pourtour d'une bande d'acier et d'une bande de caoutchouc qui, en s'adaptant hermétiquement sur le siège de la soupape, assure l'étanchéité de la fermeture.

La soupape est suspendue au sommet de la conduite par une charnière et un arbre passant dans une boîte à étoupes qui se prolonge à l'extérieur, et elle peut être manœuvrée à l'aide d'un levier en cas d'obstruction.

La conduite transversale T reliant les deux cylindres de vide supporte en son milieu un troisième cylindre vertical K de $0^m,90$ de diamètre et 3 mètres de hauteur, destiné à jouer le même rôle par rapport à ces deux cylindres que le

réservoir d'air par rapport aux pompes de compression. Il communique à sa base R, avec l'intérieur de la conduite, par une soupape analogue à celles qui viennent d'être décrites et s'ouvrant vers l'intérieur du cylindre. Ce cylindre additionnel n'existait pas dans les premières dragues du système Newton; l'expérience en a démontré l'utilité.

Le tuyau d'aspiration proprement dit vient s'embrancher au-dessous de la conduite de communication des deux cylindres au moyen d'un joint sphérique Y qui permet de faire varier sa direction dans tous les sens. Une partie de l'enveloppe sphérique extérieure est amovible, de telle sorte qu'en la relevant on peut remonter le tuyau d'aspiration jusqu'au niveau du pont de la drague en cas de réparation. L'intérieur de ce joint étant mis en communication avec la pompe de refoulement, est à proprement parler hydraulique, ce qui rend les mouvements du tuyau d'aspiration très faciles.

Le fond de chaque cylindre de vide présente au-dessous de la garniture en bois une sorte d'entonnoir G en fonte se raccordant avec une conduite horizontale de décharge. A l'origine de chaque conduite se trouve, dans un renflement L (*fig.* 4) ménagé exprès, une soupape s'ouvrant à l'extérieur du cylindre de vide et présentant un diamètre de $0^{m},45$. Les deux tuyaux de décharge se réunissent au delà du puits pour ne plus former qu'une seule conduite dirigée vers l'avant de la drague, où elle se raccorde par un joint sphérique avec un quatrième tuyau dont on peut faire varier la direction et la portée, de manière à verser les déblais, au besoin, à 40 mètres du lieu d'extraction.

Les cylindres de vide sont remplis et vidés alternativement de 8 à 10 fois par minute; l'expulsion de l'eau et des matières entraînées est produite par la pression de la vapeur, qui les force à sortir par le tuyau de décharge; puis le clapet, à l'origine de ce tuyau, se ferme. On introduit dans le cylindre de l'eau qui condense la vapeur, et

le vide qui s'y produit fait monter une nouvelle quantité d'eau et de matières par le tuyau d'aspiration.

La distribution alternative de l'eau et de la vapeur dans les cylindres est faite par un appareil spécial mû par une petite machine dont on peut régler la marche à volonté. Il comprend deux distributeurs F, F', l'un pour la vapeur, l'autre pour l'eau, montés l'un à côté de l'autre, entièrement semblables et animés du même mouvement.

Si nous considérons en particulier la distribution d'eau, elle se fait par une sorte de robinet à boisseau représenté par les *fig.* 5 à 10, dont la clef est traversée suivant son axe par un arbre de rotation et présente une section annulaire creuse occupant toute sa longueur. Sur le pourtour de cette clef sont des lumières régnant chacune sur la moitié de cette longueur et disposées alternativement de part et d'autre de l'axe transversal du robinet, de manière à correspondre aux orifices des tuyaux servant à porter l'eau à l'un ou à l'autre cylindre de vide. Ces lumières, au nombre de 8, sont réparties uniformément sur la circonférence de la clef, qui est fermée à un bout et ouverte à l'autre par lequel elle reçoit l'eau. Il s'ensuit que, dans le mouvement de rotation de la clef, commandée par un arbre de rotation, chaque lumière vient correspondre successivement à l'un des tuyaux communiquant avec les cylindres de vide, et, comme le distributeur de vapeur reçoit le même mouvement de rotation et communique par deux autres tuyaux semblablement disposés avec chacun de ces cylindres, la vapeur et l'eau de condensation y sont tour à tour injectées pour produire le refoulement et l'aspiration.

A l'intérieur de chaque cylindre de vide, le tuyau qui amène l'eau de condensation et la vapeur aboutit, au sommet du cylindre, à une roue à réaction constituée par un croisillon horizontal Q dont les branches sont percées de lumières obliques d'où l'eau s'échappe en nappes minces en faisant tourner tout l'appareil.

Il reste à décrire les dispositions au moyen desquelles on obtient la désagrégation des déblais.

Le tuyau d'aspiration (*fig.* 11, 12, 13 et 14), prenant son origine au joint sphérique précédemment décrit, comprend deux parties s'emboîtant l'une dans l'autre; celle d'en haut a $0^m,50$ de diamètre, celle du bas, $0^m,65$; l'ensemble des deux tuyaux est suspendu par des chaînes qui vont s'enrouler sur un treuil placé au centre de la drague. Le tuyau inférieur se termine par un orifice autour duquel viennent déboucher les jets d'eau comprimée. Un de ces jets est au-dessous de l'orifice, les autres sont placés latéralement et peuvent se mouvoir dans un plan vertical parallèle à l'axe du tuyau; ces jets débouchent tous à $0^m,45$ en avant du tuyau d'aspiration.

Ils reçoivent l'eau comprimée par un tuyau de $0^m,125$ de diamètre longeant le tuyau d'aspiration et muni de coudes flexibles en caoutchouc.

Les lances par lesquelles les jets sont produits se terminent par des parties coniques épousant la forme de la veine liquide, et munies à leurs extrémités d'un diaphragme héliçoïdal, qui a pour effet de lui communiquer un mouvement de gyration destiné à accroître sa force de projection (*fig.* 13 et 14).

M. Newton estime que la vitesse de la veine liquide, lorsqu'elle atteint 60 mètres par seconde est suffisante pour désagréger l'argile et les schistes. Les matières désagrégées sont immédiatement mises en suspension par le courant qui se produit dans le tuyau d'aspiration et dont la vitesse est à peu près constante depuis l'addition du réservoir de vide intercalé entre les deux cylindres.

Pour mettre tout l'appareil en marche, on commence par fixer le bateau en place en affalant la béquille unique. On abaisse ensuite le tuyau d'aspiration, de manière à en mettre l'orifice inférieur en contact avec le sol. On met alors en mouvement la pompe de refoulement et le double distributeur

que l'on fait d'abord marcher lentement, de manière à purger d'air les cylindres par les tuyaux extérieurs qui sont munis à cet effet de robinets. La désagrégation du sol sous l'action des jets d'eau comprimée commence alors à avoir lieu, et les produits en sont aspirés dans chacun des cylindres de vide, puis expulsés à l'extérieur.

Quand le tuyau d'aspiration cesse de porter sur le sol, la première fouille attaquée se trouvant creusée à profondeur, on fait tourner la partie basse du tuyau d'aspiration de manière à en amener l'orifice dans une direction perpendiculaire à la circonférence que tend à décrire la drague en tournant autour de la béquille fixe; on détermine ainsi un léger déplacement de celle-ci qui permet d'attaquer une nouvelle fouille en prolongement de la précédente; on peut d'ailleurs élargir cette fouille en faisant avancer dans la direction de l'axe de la drague, soit l'extrémité du tuyau d'aspiration, soit la drague elle-même en soulevant la béquille.

Suivant que le déblai est d'une désagrégation plus ou moins difficile, on fait varier les dimensions des ajutages des jets d'eau comprimée et la vitesse de marche des pompes de compression.

La seconde des trois dragues construites jusqu'à présent dans ce système, qui est employée au port de Galveston (Texas) depuis l'an dernier, travaillant dans un terrain de gravier, a produit un cube de déblai de 360 mètres cubes par heure, élevés à une hauteur totale de $8^{m},40$, dont 6 mètres au-dessous de l'eau, en consommant environ 500 kilog. de houille. On compte ordinairement de 16 à 20 cylindrées par minute, et M. Newton estime que les déblais forment du 1/3 au 1/4 du cube total élevé dans les cylindres. La pression oscille dans les cylindres entre 0,07 d'atmosphère et $1^{atm},20$.

Le principal inconvénient qu'on éprouve en faisant marcher ce système de drague se produit aux arrêts; lorsqu'on

drague dans le sable, l'orifice inférieur du tuyau d'aspiration se trouve obstrué par les matières qui retombent; on y a remédié en introduisant à l'intérieur du tuyau d'aspiration vers le bas un jet supplémentaire d'eau comprimée. On a en outre ajouté à la jonction des deux tuyaux de décharge un clapet d'arrêt Y' pour que la vapeur injectée dans les cylindres ne puisse s'échapper.

Ce système de drague a le mérite d'être peu coûteux (le prix des plus grandes dragues construites à Chicago ne dépasse pas 54.000 francs), de n'exiger qu'un personnel très restreint (4 à 5 hommes en totalité), et d'être soustrait par la simplicité et la solidité de ses organes aux causes d'avaries et d'obstructions fréquentes qui se présentent dans les autres dragues. Aussi, bien qu'il ait l'inconvénient d'employer la vapeur dans des conditions peu favorables à son effet utile en raison de la condensation qui se produit en pure perte pendant la période de refoulement, et qu'il ait en outre, en commun avec les autres dragues à aspiration celui d'élever inutilement une grande quantité d'eau pour une faible quantité de matière extraite, l'emploi en paraît-il relativement économique pour les dragages à des profondeurs d'eau modérées, les seuls auxquels il puisse s'appliquer, et il semble appelé à se répandre dans les ports de l'Ouest où ses avantages spéciaux sont mieux appréciés qu'ailleurs.

Remarquons en passant que l'idée d'employer l'eau ou l'air à haute pression pour désagréger les terrains et opérer le transport des matières désagrégées à de grandes distances a déjà reçu plus d'une application en Europe et en Amérique. Les jets d'eau à haute pression sont employés depuis plusieurs années déjà aux fondations tubulaires, soit pour faciliter l'enfoncement de colonnes en fonte de petit diamètre dans le sable (jetées de Southport-Lancashire [Angleterre]), soit pour faire monter le sable dans les caissons à air comprimé de grandes dimensions (fonda-

tions du pont de Saint-Louis au Mississipi). La compression de l'air a été aussi utilisée pour vider les trémies où sont déposés les produits du dragage. Aux Millwall-Docks de Londres, on a employé une drague à échelle construite par M. Duckham, qui portait des trémies où les matières versées, introduites par des soupapes que l'on fermait dès qu'elles étaient remplies, étaient soumises à l'action de l'air injecté à une pression de 2 ou 3 atmosphères. Le bateau dragueur, muni d'une hélice, se transportait une fois les trémies remplies au lieu de déchargement; l'air comprimé était alors introduit dans les trémies et expulsait les matières au moyen d'une conduite en fonte vissée sur la partie supérieure des trémies, qui se prolongeait à une distance de 130 mètres par une manche en cuir. En 22 minutes tout le contenu des trémies, soit 160 mètres cubes, était ainsi transporté à cette distance.

Un ingénieur américain, M. Prindle, a proposé de combiner ce mode de transport avec l'emploi de dragues d'un système quelconque; les matières draguées seraient chargées sur des chalands à la partie inférieure desquels serait une chambre cylindrique où l'on ferait tomber ces matières par une soupape; on clorait ensuite cette soupape, et l'on expulserait les produits du dragage au moyen d'un jet d'air et d'eau comprimés, en facilitant la division et la mise en suspension des matières par le mouvement d'un arbre armé de palettes héliçoïdales.

Drague traînante. — Pour compléter la description des systèmes de dragage employés dans les ports et sur les rivières, nous rappellerons les appareils imaginés pour creuser des chenaux dans le sable décrits dans l'ouvrage de M. Malézieux. L'un, celui du colonel Long consiste en plusieurs cuillers en tôle juxtaposées et fixées au bas d'un bâti en charpente porté par l'avant d'un bateau marchant à reculons; l'autre, inventé par le général Mac Alester, produit la désagrégation du sable à l'aide du propulseur lui-même,

constitué par une hélice dont les bras descendent au-dessous de la coque.

Pour remédier à la rupture fréquente des bras de l'hélice occasionnée par la rencontre des matières dures mêlées au sable, on a combiné ces deux systèmes sur le bateau-dragueur « Mac Alester », employé à l'entretien d'une des passes navigables de l'embouchure du Missis-sipi, en plaçant devant l'hélice une cuiller unique de grande dimension fixée solidement à un bâti (*fig.* 20 et 21, Pl. 8). Ce bâti porte un arbre horizontal A autour duquel peut osciller le plan de la cuiller dont on règle l'inclinaison, généralement voisine de 45°, à l'aide de deux tirants B et B', dont on peut faire varier la largeur. Quand le bateau dragueur est en marche, on laisse la cuiller descendre un peu au-dessous de la coque ; un treuil placé à l'avant du navire permet de la relever. La cuiller à mesure que le navire s'avance, détache le sable du fond, et l'entraîne dans les parties profondes.

La cuiller du « Mac Alester » a 2^{m},40 de longueur horizontale, 1^{m},45 de hauteur et elle présente une flèche de 0^{m},48. Son axe de suspension se trouve à 1 mètre en avant du plan médian de l'hélice.

Le « Mac Alester » qui est à deux gouvernails et deux hélices (*double ender*) est un navire à vapeur de 48 mètres de long, 9 mètres de large, et 4^{m},20 de tirant d'eau à pleine charge. Il sert, en même temps qu'à l'approfondissement des chenaux, à porter secours aux navires échoués sur les bancs de l'embouchure du Mississipi.

Deux dragueurs de ce type, l'Essayons et le « Mac Alester » ont suffi pour entretenir dans ces dernières années un chenal variant de profondeur entre 5^{m},40 et 6 mètres au moment de la pleine mer, et de 12 à 30 mètres de largeur dans les passes les plus étroites.

CHAPITRE III.

Travaux de dragage exécutés dans les principaux ports.

DRAGAGES EXÉCUTÉS SUR LE SAINT-LAURENT EN AVAL ET A L'INTÉRIEUR DU PORT DE MONTRÉAL.

Les dragues à échelle se rencontrent rarement en Amérique, M. Malézieux, dans son rapport de mission sur les travaux publics des États-Unis, en 1870, déclare n'en avoir vu que deux.

Il en a été fait un certain emploi au Canada pour l'approfondissement des chenaux navigables du Saint-Laurent, entre Montréal et Québec. La commission du port de Montréal, depuis longtemps préoccupée de l'améliorer, et d'amener jusqu'à ce port, qui marque l'extrême limite des rapides du Saint-Laurent, les navires transatlantiques, a organisé sur ce fleuve une vaste entreprise de dragage, à l'exemple de ce qui s'était fait en Angleterre pour la Clyde et la Tyne. On sait que, grâce à la continuité de leur travail et à la vaste échelle sur laquelle il s'exécutait, les puissantes dragues continues de la Clyde, dont la construction avait coûté pour chacune 445.000 francs, ont donné par heure dans des fonds de sable et de vase 133 mètres cubes au prix de 30 centimes par mètre cube, non compris le transport et versement à 43 kilomètres de distance, payés 15 centimes par mètre cube.

Après avoir emprunté d'abord aux chantiers de la Clyde des dragues de ce système, la commission du port de Montréal s'est décidée à faire exécuter sur le même type par un constructeur de cette ville six dragues qui lui ont coûté chacune 325.000 francs, et qui avec 2 dragues anciennes, 7 remorqueurs, dont un à roues, 19 gabares et diverses

embarcations de service, ont porté la valeur de son matériel de dragage à 2.944.000 francs.

Chacune de ces dragues, à coque en bois et à échelle centrale, a une longueur de 40 mètres, une largeur au maître-bau de 8^{m},70, et 3 mètres de creux. L'échelle, qui a 22 mètres de longueur, peut atteindre une profondeur de 10 mètres, et porte des godets de 0^{m3},10 de capacité. Les machines, dont la force nominale est de 170 chevaux environ, sont doubles, verticales, à action directe et à condensation; elles sont placées sur le pont; les cylindres ont 0^{m},50 de diamètre et 0^{m},80 de course; la pression de la vapeur varie de 3 1/2 à 5 atmosphères. Les machines actionnent, par l'intermédiaire de pignons et d'embrayages à friction, deux roues dentées placées de chaque côté de l'échelle centrale.

Chaque drague est montée par un équipage de dix hommes dont les gages mensuels s'élèvent ensemble à 2.750 francs; les remorqueurs ont quatre hommes d'équipage payés 1.250 francs; la totalité du personnel pour toute la flotte est d'environ 200 hommes et coûte par mois 35.000 francs.

Ce matériel a été uniquement employé dans ces dernières années à creuser immédiatement au-dessous de Montréal, principalement au travers de la vaste nappe d'eau désignée sous le nom de lac de Saint-Pierre, que forme le Saint-Laurent en aval de cette ville, un chenal de 9 kilomètres de long et de 90 mètres de large sur 7 mètres et 7^{m},50 de profondeur, par des fonds d'argile plus ou moins mêlée de gravier et de galets. Ces travaux s'exécutent en régie sous la direction immédiate de l'ingénieur de la commission du port de Montréal.

Dans le principe, les dragues creusaient dans le sens de la longueur des chenaux des sillons parallèles, laissant entre eux des saillies dont l'aplanissement exigeait des reprises ultérieures et entraînait des déplacements multipliés,

des dragues que la violence du courant rendait très laborieux : on a considérablement simplifié leur travail en les faisant cheminer transversalement de droite à gauche, puis de gauche à droite ; le sillon qu'elles ouvrent ainsi sur toute la largeur du chenal ne fait que s'agrandir, lorsqu'à la fin d'une passe on fait avancer la drague pour prendre une nouvelle coupe, et la régularité des surfaces est immédiatement obtenue sans qu'on ait besoin d'y revenir.

Le tableau ci-après donne pour les six dragues neuves le travail effectué dans la campagne de 1875 aux chenaux du lac Saint-Pierre et de Contrecœur, d'où les déblais extraits étaient transportés sur les berges à une distance de 800 mètres environ. Les prix de revient comprennent toutes les dépenses, excepté l'intérêt et la dépréciation du capital.

...os ...s.	TEMPS de service.	EMPLACEMENT du travail.	NATURE du fond.	QUANTITÉS totales draguées.	QUANTITÉ moyenne draguée par jour.	Prix par mètre cube.
	jours.			mèt. cub.	mèt. cub.	francs.
	158	Chenal de Contrecœur.	Argile, gravier et galet.	112.370	711	1,00
	163	Idem.	Idem.	89 240	681	»
	166	Lac Saint-Pierre.	Argile tendre.	143.415	864	0,72
	167	Idem.	Idem.	113,760	681	0,72
	[illegible]	Cap Saint-Michel.	Argile, gravier et galet agglutiné.	63.675	547	1,43
	147	Chenal de Varennes.	Idem.	33 500 } 56.410	383	1,43
		Chenal de Contrecœur.	»	22.910		1,43

Les quantités ci-dessus ont été mesurées dans les gabarres. On compte que 1 mètre cube évalué au profil donne un foisonnement de $0^{m},40$ dans les gabarres.

Ces prix, qui sont ceux de dragages exécutés à une profondeur de 6 mètres à $7^{m},50$ à une époque où la main-d'œuvre avait considérablement renchéri, sont notablement supérieurs à ceux qui avaient été payés dans les précédentes années ; ils avaient été seulement pour les dragages du lac Saint-Pierre :

			mèt.				fr.	
Pour des profondeurs		de	3,00		mèt.	de	0,40	par mètre cube
Id.	id.	de	5,00	à	4,50	de	0,47	id.
Id.	id.	de	4,50	à	5,00	de	0,53	id.

Indépendamment des dragages dans les fonds d'argile et de gravier plus ou moins résistants, il a dû en être exécuté une petite quantité sur des fonds de roche tendre, recouverts de blocs de toute dimension jusqu'à 20 tonnes en poids. Ces blocs ont été enlevés au moyen d'un appareil spécial, après quoi une drague à godets armés de dents a attaqué la roche. La dépense totale de l'ensemble de ces extractions, portant sur 250 mètres cubes de blocs, et 6.210 mètres cubes de roche, soit en totalité sur 6,560 mètres cubes, a coûté 78.570 francs, soit 12 francs environ par mètre cube.

Dans le port de Montréal proprement dit, la commission possède en outre un matérial spécial qui, après avoir été uniquement composé de dragues à échelle, comprenait en 1876 sept dragues à cuiller et plusieurs dragues du système Clam Shell. La résistance des terres à extraire, désignées sous le nom de *Hard pan*, et constituées par un mélange d'argile et de gravier assez fortement agglutinés et les conditions particulières dans lesquelles devait se faire l'extraction, ont déterminé la commission, après une série d'expériences, à donner la préférence au matériel américain proprement dit pour ces déblais. Au lieu en effet de s'effectuer d'une manière courante sur de vastes étendues et sans autres interruptions que celles occasionnées par les réparations de matériel, ces dragages doivent s'exécuter le long des quais et dans les bassins de Montréal où ils sont sujets à de nombreux dérangements.

Dès l'année 1855, la commission possédait déjà une drague à cuiller travaillant concurremment avec quatre dragues à échelle au curage du port.

	mèt. c.	fr.	fr.
En 1860, la drague à cuiller avait extrait seule un cube de.	10.631		
au prix d'une dépense totale de.		14.510	
soit à raison de.			1,37
par mètre cube, dans des bassins où les autres dragues avaient extrait.	42.795		
avec une dépense totale de.		80.220	
soit au prix de.			1,87
par mètre cube. — Différence par mètre cube, à l'avantage de la drague à cuiller, de.			0,50
	mèt. c.	fr.	fr.
En 1861, cette même drague à cuiller a extrait.	7.408		
avec une dépense, y compris réparations, de		25.011	
ce qui porte le mètre cube au prix de. .			3,38
Ce prix, déduction faite des réparations de mise en état, au début de la campagne, qui avaient coûté.		10.415	
serait seulement de.			1,98
Pour les deux dragues à échelle qui ont marché la même année et qui ont extrait ensemble.	20.756		
Les dépenses ont été : avec les réparations, de 107.310 fr., soit par mètre cube de.			5,18
et sans les réparations, de 62.810 fr., soit par mètre cube de.			3,03

On voit que la plus grande résistance des terrains a accru proportionnellement la différence des prix de revient et fait encore mieux ressortir la supériorité de la drague à cuiller en pareil cas. Aussi a-t-on considérablement augmenté le nombre de ces dragues dans ces dernières années. A la fin de 1875, on n'avait plus conservé pour le service du port qu'une drague à échelle, pendant qu'on avait porté à cinq le nombre des dragues à cuiller. Ces dragues, dont la cuiller a une capacité de 1^{m^3},10, s'éloignent peu du type que nous avons décrit précédemment. On leur

a adjoint, pour le déchargement sur les rives, trois dragues à mâchoires qui exécutent la reprise sur les chalands; ces chalands, au nombre de seize, et de capacités diverses, ont pour les remorquer trois bateaux à vapeur.

Les Clam Shells servant à la reprise sont d'un modèle un peu différent de ceux qui ont été décrits; ils s'ouvrent à l'aide d'un déclanchement semblable à celui des sonnettes à déclic. Le bâti du double tambour est surmonté d'une tige verticale carrée le long de laquelle peut remonter une douille où aboutissent des bras articulés attachés respectivement aux deux mâchoires. Quand la douille est au sommet de la tige, la caisse de la drague se ferme; quand elle est au bas, celle-ci s'ouvre. Lorsque la caisse est fermée la douille est retenue à la tige par des cisailles mordant dans des encoches que présente cette tige. Si l'on écarte celles-ci à l'aide d'une petite chaîne passant sur l'une des poulies de la grue et mue directement à la main, la douille tombe au bas de la tige, et la caisse se vide ou s'ouvre pour se remplir. Une autre chaîne suspendue à la douille et virée par une chaîne de levage ordinaire ferme la caisse et la remonte ensuite.

Cet appareil fait un très bon service pour la reprise des déblais, mais il serait tout à fait incapable de fonctionner comme drague agissant directement sur le terrain dans les bassins de Montréal, où le fond est généralement résistant. Sa construction est assez économique : chaque appareil ne coûte pas plus de 30.000 francs pour une capacité de caisse de 1 mètre cube environ.

Les quatre dragues à cuiller et la drague unique à échelle travaillant ensemble dans les différentes parties du port de Montréal ont donné en 1875 les résultats suivants :

EMPLACEMENT des dragages.	NATURE des terrains dragués.	PRIX de revient par mètre cube.	QUANTITÉS extraites en totalité.	QUANTITÉS extraites par jour de travail en moyenne.
		francs.	mèt. cub.	mèt. cub.
Windmill Point (creusement d'un nouveau bassin).	Argile agglutinée (hard pan) et galets (fond extrêmement résistant).	3,40	73.500	160
Island Shoal (élargissement de chenal) . . .	Sable, galet et gravier.	2,50	25.050	220
Military basin (approfondissement et fouilles de fondation).	Sables mouvants et vase.	2,20	21.690	260

Les dragues travaillaient à une profondeur de $7^{m},20$ à 9 mètres, et elles ont éprouvé dans leur travail, par suite de la présence des navires, de fréquentes interruptions. La drague à échelle a dû, après quelques mois de travail dans le second des emplacements ci-dessus, où elle ne faisait qu'un service médiocre, être expédiée en aval de Montréal pour être employée à des extractions dans l'argile molle.

PORT DE BOSTON.

Le port de Boston occupe le fond d'une rade abritée par une ceinture d'îles qui forment comme autant de brise-lames naturels, et découpée par des baies où viennent déboucher plusieurs cours d'eau. Les dépôts de vase plus ou moins fluente charriés par ces cours d'eau au fond de la rade recouvrent une couche d'argile très compacte mêlée de gravier; plus loin, vers le large, il existe entre les îles des bancs formés de matériaux généralement plus mobiles, où se rencontrent des blocs de grosseur variable provenant des roches granitiques du littoral et entraînés par les courants que produit l'oscillation des marées, qui est de 3 mètres en moyenne.

L'une des passes d'entrée les plus fréquentées par la navigation est celle des Narrows, située au sud de l'île de Lovett, dont le gouvernement des États-Unis poursuit de-

puis 1867 l'amélioration, consistant dans l'ouverture d'un chenal de 180 mètres de largeur sur 7 mètres de profondeur à basse mer.

Ce travail, après avoir été interrompu pendant quelques années, a été repris en 1872 et continué pendant les années suivantes par des entrepreneurs qui ont soumissionné les dragages au prix de 2f,60 le mètre cube mesuré dans les gabares. La quantité à extraire devait atteindre en totalité 45.000 mètres cubes. Le produit journalier des dragues, qui étaient des dragues à cuiller, a été très variable. Le relevé des opérations de l'une de ces dragues, *Général Tyler*, pour les mois de juin et juillet 1875, a donné les résultats suivants :

1° Sur un banc de gravier mobile formant la pointe d'une île où la drague pouvait travailler sans se déplacer plus de deux fois par jour, les matériaux venant remplir la fouille creusée par la drague au fur et à mesure du travail de celle-ci, et la profondeur moyenne d'eau étant de 8m,40.

Cube moyen par jour . . . . 320 mètres cubes.

2° Dans un fond d'argile mêlée de gravier, galets et grosses pierres, la coupe étant de 0m,54 en moyenne et la profondeur d'eau de 8m,70,

Cube moyen par jour . . . . 150 mètres cubes.

L'équipage de ce bateau-dragueur, qui était servi par huit gabares d'une capacité de 30 mètres cubes chacune, comprenait dix hommes; le remorqueur avait quatre hommes à bord.

Plus à l'intérieur du port, il existe une autre barre, désignée sous le nom d'*Upper Middle Bar*, que le gouvernement se propose de faire disparaître, de manière à assurer à la navigation un chenal d'une profondeur de 7 mètres à basse mer et de 180 mètres de largeur sur une longueur de 1.600 mètres. La plus grande masse à extraire se trouve sur un parcours de 660 mètres, où l'approfondissement doit varier de 0m,30 à 2m,10. Les travaux de dragage, qui

doivent porter sur un cube total de 190.000 mètres cubes, ont été commencés en 1870, et ils ont été poursuivis depuis cette époque à un prix qui a varié depuis 3f,60 par mètre cube jusqu'à 5 et 6 francs, en raison de la nature très résistante du fond sur certains points. Cette résistance croît très sensiblement avec la profondeur. Néanmoins, les dragues du système Clam Shell peuvent encore être employées avec un certain succès pour les extractions, ainsi qu'on peut en juger par les chiffres suivants relatifs au travail d'une drague du système Symonds dans la campagne de 1874. Le cube moyen extrait par jour a été :

	mèt. c.
1° En octobre 1874, dans un fond d'argile et de gravier à une profondeur sous l'eau de 9 mètres, l'épaisseur de la coupe étant de 0m,60.	145,00
2° En novembre, même fond, la coupe ayant 0m,45 d'épaisseur et la profondeur d'eau étant de 8 mètres.	177,00

La drague était de force moyenne; la caisse avait 2 mètres de capacité.

Il y a lieu de remarquer qu'ainsi que nous l'avons observé plus haut, la structure de la caisse de la drague du système Symonds se prête médiocrement à l'extraction des matériaux dans les fonds résistants. La drague du système Both, essayée sur les mêmes fonds, aurait donné un produit double il y a trois ans.

PORT DE NEW-YORK.

Les dragages dans la baie de New-York ont pour objet, soit le curage des docks dont la configuration favorise la rapide accumulation des dépôts, soit l'enlèvement des hauts-fonds qui se forment dans l'Hudson devant Jersey City, soit encore l'extraction de blocs que l'on a fait sauter au moyen de mines sous-marines.

Le curage des docks est exécuté en régie sous la direction des ingénieurs de ce service.

Le matériel de dragage employé à ce curage est de construction récente. Il comprend : quatre dragues à cuiller du système Osgood, deux grandes et deux petites, dont la force en chevaux-vapeur varie de 134 chevaux à 64; trois remorqueurs et dix-huit chalands ayant chacun une capacité moyenne de 140 mètres cubes.

La capacité des cuillers varie entre 2 mètres cubes et $1^{m^3},60$; les plus grandes sont employées pour la vase ordinaire, les plus petites pour les matériaux plus durs. Chaque grande cuiller pèse 2 tonnes et chaque petite 1.500 kilog.

Les plus fortes dragues ont coûté 120.000 francs chacune et les plus petites 110.000 francs; les premières ont été achetées toutes faites, les secondes ont été construites sous la direction et sur les plans des ingénieurs des docks.

Les remorqueurs sont d'une force en chevaux variant entre 126 et 241 chevaux-vapeur. Les gabares ont coûté chacune 16.000 francs en moyenne.

Les quatre dragues, pendant l'année 1876, ont extrait dans les docks, par des profondeurs variant entre 3 mètres et $7^m,50$, un cube total de 202.900^{m^3}, avec une dépense totale de 139.300 francs, ce qui fait ressortir une dépense de 68 centimes par mètre cube, non compris l'intérêt et la dépréciation du matériel. En portant à 20 p. 100 ces frais, applicables à un matériel d'une valeur de 1 million de francs environ, on arriverait au prix de $1^f,65$ par mètre cube. Ce prix comprend le transport à 25 kilom. des déblais dragués.

Sur les hauts-fonds de l'Hudson, on évalue à $2^f,90$ le prix du mètre cube dragué dans des fonds de vase mêlée de gravier et de sable.

PORTS SUR LA DELAWARE.

Sur la Delaware, le développement commercial pris dans ces dernières années par le port de Philadelphie a conduit

à exécuter des travaux considérables de dragage. Sur la barre à l'embouchure de cette rivière, la profondeur d'eau à basse mer suffit pour les plus forts navires; mais avant de remonter jusqu'à Philadelphie, ils rencontrent plusieurs passages, notamment au droit des forts Delaware et Miffins, où le tirant d'eau jusque dans ces dernières années ne dépassait guère 6 mètres et où les sinuosités du chenal rendaient, eu égard à sa largeur, leurs évolutions très difficiles. On estimait à 900.000 mètres cubes environ le cube à draguer en aval de Philadelphie pour obtenir partout un tirant d'eau de $7^m,50$.

Les dragages dans la Delaware, comme dans la portion de son affluent, le Schuylkill, qui traverse Philadelphie et où viennent de s'établir de vastes entrepôts pour le commerce des grains et du pétrole, sont effectués dans un fond de vase sableuse facilement attaqué par la drague à mâchoires. La compagnie de dragages dont le siège est à Philadelphie, l'*American dredging Cy*, a soumissionné la plus grande partie de ces travaux à un prix variant entre $1^f,20$ et 2 francs, suivant le degré de compacité du sol. Elle emploie concurremment les dragues du système Morris et Cumings et Hall, qui ont été décrites plus haut.

PORT DE BALTIMORE.

Le port de Baltimore, situé à l'embouchure de la rivière de Patapsco, dans la baie de Chesapeake, a été l'objet dans ces dernières années de travaux de dragages très importants exécutés dans le but d'obtenir dans tout le port et ses accès un tirant d'eau uniforme de $7^m,20$.

Des marchés ont été passés à cet effet avec divers entrepreneurs pour des dragages portant sur des quantités variant depuis 240.000 mètres cubes jusqu'à 340.000 mètres cubes. La marche de plusieurs entreprises a fourni sur les mérites

relatifs des divers systèmes de dragues des renseignements qui présentent un certain intérêt.

En 1872, une drague à cuiller du système Osgood, ayant coûté avec quatre gabares de 40 mètres cubes de capacité chacune environ 100.000 francs, a exécuté pour le compte de l'entreprise Braniard un cube de 63.000 mètres cubes de déblais dans la vase en 143 jours de travail, soit par jour de 10 heures de travail un cube de 441 mètres cubes au prix d'une dépense totale y compris intérêt, amortissement et réparations de 450 francs par jour, ce qui donne un prix de revient par mètre cube de 98 centimes.

La même année, une drague du système Morris et Cumings, du type n° 1, et du prix de 173.000 à 200.000 francs, avec quatre gabares de 150 mètres cubes de capacité chacune, coûtant par jour y compris mêmes frais que ci-dessus, 650 francs, a déblayé en 207 jours de travail 161.000 mètres cubes, soit par jour 770 mètres cubes au prix de 72 centimes l'un.

Une autre drague du système Curtis, Fobes et Cie, de même force que la précédente, a produit en 113 jours 81.800 mètres cubes, soit par jour 724 mètres cubes, avec les mêmes frais journaliers; ce qui a fait revenir le mètre cube à 77 centimes.

Toutes les dragues travaillaient sous une profondeur d'eau variant entre $5^m,40$ et $7^m,20$ et dans une rivière de 3 à 5 kilomètres de largeur où l'oscillation des marées était de $0^m,75$.

En 1873-1874, les dragues des systèmes Curtis, Fobes et Cie, et Morris et Cumings, ont seules travaillé, les unes au nombre de 2, les autres au nombre de 2 à 4; dans l'espace de 375 jours, les premières ont seulement perdu 40 jours, non compris les dimanches, et elles ont travaillé par conséquent 281 jours, pendant lesquels elles ont extrait 562.500 mètres cubes, ce qui donne pour le produit journalier de chacune 1.000 mètres cubes, déduction faite des

jours perdus, ou avec les pertes de temps, 840 mètres cubes par jour.

En 1873, les dragues du système Morris et Cumings ont travaillé 220 jours et en ont perdu 48; elles ont produit par drague 215.000 mètres cubes, soit par jour de travail 980 mètres cubes, et avec les pertes de temps 802 mètres cubes par jour.

Les produits des dragages étaient transportés à 2.500 m.; un remorqueur était attaché à chaque gabare.

En 1875, une autre drague du système Morris et Cumings, du plus fort type, servie par 3 gabares de 225 mètres cubes de capacité chacune et 2 remorqueurs les conduisant à une distance de 10 kilomètres, a produit 45.000 mètres cubes en 25 jours pendant 3 mois consécutifs, soit par jour 1.800 mètres cubes.

En 1876, cette même drague a extrait en moyenne par jour pendant 6 semaines 2.600 mètres cubes avec 3 gabares contenant chacune 375 mètres cubes, et 2 remorqueurs les conduisant à une distance de 4 kilomètres.

La profondeur d'eau variait de 5 mètres à 7^{m},20. Le travail avait lieu sur une rade abritée dans des fonds de vase molle comme les précédents.

Ces exemples font ressortir la grande quantité de travail des dragues du système Clam Shell dont le produit, trop souvent limité par l'insuffisance des moyens de transport, n'atteint que rarement son maximum pour cette cause, et la nécessité pour en tirer tout le parti possible, d'accroître dans une forte proportion la capacité des gabares.

Les prix payés par mètre cube pour ces dernières entreprises se sont abaissés à 1^{f},20 et 90 centimes, grâce aux conditions favorables où s'exécutaient les extractions.

PORT DE SAN FRANCISCO.

Le port de San Francisco, dont le fond est de la vase

pour ainsi dire indéfinie, donne lieu à des dragages assez importants pour l'exécution desquels la commission du port a fait l'acquisition d'un matériel ayant déjà servi, composé d'une drague Morris et Cumings, d'un remorqueur et de deux chalands de 75 à 90 mètres cubes de capacité, qui lui a coûté 175.000 francs. Ce matériel travaille en régie sous la direction immédiate de l'ingénieur de la commission.

Cette drague a extrait de la baie, qui est bien abritée, un cube de déblais qui s'est élevé jusqu'à 950 mètres cubes par 10 heures de travail.

La capacité de la caisse était de $1^{m3},10$.

Le personnel était composé comme il suit :

			francs	
2 capitaines, payés. . .	l'un.		875	par mois
	l'autre		600	—
1 mécanicien			500	—
1 chauffeur.			375	—
2 matelots			650	—
1 aide mécanicien . . .	sur le remorqueur . .		400	—
1 chauffeur			375	—
5 manœuvres sur les gabares.			1.500	—
	Total par mois.		5.275	

	fr.
Ce qui fait par jour de travail, en comptant 25 jours de travail par mois.	1[illegible]
A compter pour charbon brûlé en moyenne par jour $5^{t},20$ à 60 fr.	1[illegible]
A ajouter pour les dépenses d'entretien, de réparation et intérêt du capital, 25 p. 100 par an, soit 45.000 fr., en raison de l'âge du matériel, et par jour de travail (300 par an).	150
A ajouter encore pour dépenses diverses.	26
Total des frais journaliers.	500

prix qui se rapproche beaucoup de celui donné pour la dépense journalière des dragues de Baltimore.

Or le cube extrait a été de 226.800 mètres cubes en

308 jours de travail, soit par jour 736 mètres cubes et par mètre cube $\frac{500}{736} = 0^{f},66$, prix différant seulement de $0^{f},06$ du prix accusé pour les dragues du même système à Baltimore.

On peut donc estimer que le prix du mètre cube dragué dans la vase molle ne dépasse pas 75 centimes avec les dragues à mâchoires, tandis qu'il s'écarterait peu de 1 fr. avec les dragues à cuiller.

CHAPITRE IV.

Résumé.

Il nous reste à résumer l'étude que nous venons de faire des divers systèmes de drague en usage dans l'Amérique du Nord, et à examiner quelles applications pourraient en être faites en France.

Le *premier* fait à constater, c'est que l'usage de la drague *à échelle* est complètement abandonné aux États-Unis. Au Canada seulement on a continué à se servir de ce système de drague pour les travaux de canalisation du Saint-Laurent, où, comme il s'agit de dragages s'exécutant sur de vastes étendues, par des fonds de résistance peu variable, sans crainte d'interruptions par suite de dérangements ou d'avaries, il se trouve placé dans des conditions exceptionnellement favorables à son emploi.

On doit reconnaître qu'il en est tout autrement dans la plupart des ports et des rades où cet emploi est sujet à rencontrer de sérieuses difficultés, soit par suite de la présence des navires dont il ne faut pas entraver les mouvements, ou de la configuration plus ou moins régulière des bassins, dont il est rare que les dragues à échelle puissent atteindre toutes les parties, soit à cause de l'absence du

calme nécessaire pour le bon fonctionnement de ces dragues. Dans ces différents cas, l'exemple des ports que nous avons successivement passés en revue montre le parti que l'on peut tirer lorsqu'il s'agit de draguer dans des fonds résistants, de la drague à cuiller, telle qu'elle est actuellement construite en Amérique, et sur des fonds de résistance et d'agrégation médiocres, de la drague à mâchoires beaucoup plus simple, plus économique et plus marine que les dragues des deux autres systèmes.

La supériorité de ce dernier engin sur les autres dans la plupart des cas, est aujourd'hui consacrée par l'expérience, et à mesure que les travaux de dragage prennent plus d'importance, les dragues à mâchoires sont celles qui se multiplient le plus, au point de supplanter presque complètement les autres dragues.

On ne construit plus aujourd'hui de dragues à cuiller que d'une manière exceptionnelle, pour des extractions dans des fonds qui se laisseraient trop difficilement entamer par la drague à mâchoires. Quand il s'agit d'enlever les produits des désagrégations opérées sous l'eau au moyen de la poudre, celle-ci reprend encore l'avantage en ce que par l'emploi de la caisse-grappin, elle évite le chaînage sous l'eau des blocs; elle offre en outre un moyen commode d'effectuer la reprise à bord des gabares et la mise à quai des déblais transportés.

Il importe toutefois de ne pas perdre de vue que l'emploi de la drague à mâchoires est surtout économique, lorsqu'il s'agit d'enlever de fortes tranches de déblai, et qu'elle est servie par un nombre de gabares et de remorqueurs proportionné à sa puissance d'extraction. Elle ne saurait se prêter aussi avantageusement à des dragages d'entretien proprement dits où il s'agit, soit d'enlever une faible couche da vase d'épaisseur uniforme, soit de faire disparaître les petites inégalités que peut présenter le fond d'un chenal.

Ce système de drague doit surtout trouver son application dans les grands avant-ports, les rades extérieures et les embouchures des rivières, là où se rencontrent des passes sujettes à être encombrées par des bancs mobiles, sur lesquels on n'a ordinairement d'autres moyens d'action que le travail beaucoup trop lent et trop intermittent de la drague à échelle, ou des courants produits par des chasses qui entraînent la construction d'ouvrages très coûteux. La grande puissance d'extraction de la drague à mâchoires, et son aptitude spéciale à tenir la mer sans interrompre son fonctionnement tant que la houle n'est pas très forte, lui donnent alors une supériorité marquée sur les autres systèmes de dragues. Comme il suffit le plus souvent de creuser dans la direction des passes des fosses d'une capacité assez grande pour que les dépôts annuellement apportés par les courants puissent s'y loger, la drague à mâchoires ayant à attaquer de fortes coupes est ainsi placée dans les conditions les plus favorables à son rendement.

A l'intérieur des ports, la faculté qu'elle possède de pouvoir accéder partout sans causer aucune gêne aux navires, puisqu'elle n'a pas besoin d'amarres, lui permet d'assurer mieux que tout autre système de dragues la complète mise à fond des bassins dans toutes leurs parties, et de subir sans inconvénient des sujétions qui pour la drague à échelle se traduisent par des pertes de temps et des reprises coûteuses.

Pour des dragages de peu d'importance effectués par des fonds de vase et de sable à des profondeurs modérées, la drague à succion, installée de manière à pouvoir porter les déblais dragués au lieu de versement présente des avantages réels; toutefois la drague du système Henry Burden aurait besoin d'être modifiée pour être convenablement appropriée aux dragages dans les bassins et chenaux d peu d'importance. Le tuyau d'aspiration unique qui se développe sur une certaine longueur à l'arrière sera

avantageusement remplacé par des tuyaux placés de chaque côté, ne dépassant que faiblement l'arrière et aboutissant aux pompes vers le milieu de la longueur du navire, à l'instar des tuyaux d'aspiration des bateaux à pompes de Saint-Nazaire, de manière à réduire au strict nécessaire la place occupée par le bateau. Le mouvement de va et vient du bateau nécessaire pour la désagrégation des déblais pourrait être évité par l'emploi de jets d'eau comprimée, pratiqués comme dans la drague du système Newton. Cette eau comprimée, injectée à l'intérieur du tuyau d'aspiration au moyen d'une disposition analogue à celle de la pompe à sable dont il a été fait usage aux fondations du pont de Saint-Louis, pourrait vraisemblablement suffire aussi pour produire l'aspiration des déblais désagrégés, sans qu'il fût nécessaire de recourir aux pompes rotatives, sujettes à s'engorger facilement.

Il est probable qu'on parviendrait à construire économiquement dans ce système mixte une drague apte à tenir la mer, ne craignant pas l'échouage et propre à transporter comme à exécuter les déblais pour le curage annuel des avant-ports et des bassins (*).

Quant à la drague du système Newton, elle offrirait une ressource d'une certaine valeur pour le creusement des chenaux dans les terrains de gravier ou de galet plus ou moins agrégé, et permettrait de combiner avantageusement cette opération avec l'exécution des remblais à une faible

(*) Ces lignes étaient écrites depuis un certain temps, quand nous avons eu connaissance par la notice, publiée par le ministère des travaux publics à l'occasion de l'Exposition de 1878, du système de drague construit par la Compagnie Fives-Lille avec la collaboration de M. Lavalley pour les dragages de la rade de Dunkerque.

Cette drague peut être considérée comme réalisant jusqu'à un certain point le programme ci-dessus, en ce qu'elle opère l'extraction et l'aspiration de matières extraites par des moyens qui rapprochent beaucoup de ceux que nous indiquons.

distance en n'exigeant qu'un personnel très restreint. Beaucoup moins maniable que les précédentes dragues, elle ne saurait d'ailleurs être d'un usage aussi général.

Toutes les dragues à succion sont d'ailleurs forcément d'un rendement assez limité, les matières extraites se trouvant disséminées dans une masse d'eau plus ou moins considérable qu'il faut élever en pure perte.

Les procédés de dragage les plus généralement employés en Amérique ont surtout cela de remarquable qu'ils nous montrent sous un jour tout particulier des engins presque abandonnés en Europe et qui par d'ingénieux perfectionnements combinés avec l'application de la vapeur, ont acquis des qualités et une puissance nouvelles. L'introduction dans nos ports d'un certain nombre de ces engins, opérée en tenant compte dans chaque cas particulier des conditions nécessaires pour obtenir un bon rendement pourrait en compléter utilement l'outillage, et serait de nature à favoriser le développement de l'industrie des dragages, si intimement lié à la sécurité et à la prospérité de de notre commerce maritime.

Auxerre, 31 décembre 1878.

N° 18

MÉCANIQUE APPLIQUÉE

RÉSISTANCE DES VOÛTES

ET DES ARCS MÉTALLIQUES,

Par M. DE PERRODIL, Ingénieur en chef des ponts et chaussées.

Notre ouvrage intitulé, ***Résistance des voûtes et des arcs métalliques***, et publié en 1878, à la librairie Gauthier-Villars, contient six chapitres, dont le premier est une théorie de l'équilibre moléculaire des pièces prismatiques, et présente les équations générales de cet équilibre sous une forme un peu différente de celle que M. Bresse a données dans son ***Cours de mécanique appliquée***. Les cinq derniers chapitres sont une application de cette théorie à des pièces prismatiques de la nature de celles que constituent les voûtes en maçonnerie monolithique et les arcs en tôle, en fonte ou en bois de forme quelconque qui peuvent être employés dans la construction des ponts. Le court mémoire qui suit contient en résumé toute la théorie dont ces cinq chapitres présentent le développement avec quelques exemples d'applications numériques. Sa publication dans ***les Annales des ponts et chaussées*** ne peut que favoriser au plus haut degré la vulgarisation de cette théorie.

On donne, pour la fibre moyenne d'une pièce prismatique formant voûte, arc ou ferme, une courbe AOB, *fig.* 1, située dans un plan vertical qui partage les sections normales en deux parties symétriques. La pièce fait corps par ses deux sections extrêmes CD, EF avec des massifs inébranlables

M et N. On donne également les forces verticales appliquées à la courbe AOB, et provenant soit du poids propre de la pièce, soit du poids de la construction qu'elle supporte; cela posé, on demande de déterminer 1° les pressions ou tensions par unité de surface existant en chaque point d'une section normale quelconque; 2° le changement de forme de la fibre moyenne.

Nous supposons d'abord, pour plus de généralité, que la courbe AOB peut ne pas être composée de deux parties symétriques par rapport au plan normal mené au point où la tangente est horizontale.

Fig. 1.

Soit O ce point. Prenons pour axe des x cette tangente horizontale Ox, et pour axe des z la normale Oz. Soit GmH la section normale au point m dont les coordonnées sont x et z. Les forces appliquées aux divers éléments superficiels de cette section ont une résultante unique située dans le plan de la figure. Cette résultante exige trois conditions pour être déterminée. La position de la droite suivant laquelle elle agit exige deux conditions et il faut connaître, de plus, son intensité P. Soit nP la position de cette résultante. Il faudra la prendre dans le sens indiqué sur la figure ou dans le sens opposé, suivant qu'on la considérera comme appliquée à la partie située à gauche de GH et comme provenant de la partie située à droite, ou bien

qu'on envisagera la réaction égale et contraire provenant de la partie de gauche et appliquée à la partie de droite. De ces deux hypothèses nous adopterons toujours la première.

Soient X la projection de la résultante nP sur l'axe mx' tangent à la fibre moyenne au point m, Z la projection sur la normale mz' et M le moment de la même force par rapport au point m, ou, pour employer les expressions de Poinsot, l'auteur de l'ingénieuse et féconde théorie des couples, le moment du couple provenant de sa translation au point m. Soient n le point d'application de la résultante nP dans la section GH, dont le lieu géométrique constitue *la courbe des pressions*, w la distance mn comptée positivement au-dessous du point m dans le sens mz' Le moment M de la résultante nP est égal à la somme des moments de ses composantes X et Z. Celui de Z est nul. Celui de X est égal à $-wX$. Le signe $-$ de ce produit résulte de la convention adoptée pour le sens positif des couples, un couple étant considéré comme positif lorsqu'il tend à amener la partie positive mx' vers la partie positive mz' par le chemin le plus court. On aura donc

$$M = -wX,$$

ou bien,

$$w = -\frac{M}{X},$$

ce qui fait connaître la distance w de la courbe des pressions, au centre de gravité m de la section normale, quand M et X sont connus.

Les trois quantités X, Z, M déterminent d'ailleurs la position et l'intensité de la résultante nP. Réciproquement, si cette résultante était donnée en position et en intensité, les trois quantités X, Z, M seraient déterminées. Il en serait de même des actions, normale R, et tangentielle R', en tout point de la section normale; car v étant la distance de ce point à l'axe my mené par le point m, perpendiculairement

au plan de la figure, ces quantités sont données par des formules connues, savoir :

$$
(a) \qquad \left\{ \begin{array}{l} R = \dfrac{X}{\Omega} - \dfrac{Mv}{\Omega \rho^2}, \\ R' = \dfrac{Z}{\Omega}, \end{array} \right.
$$

dans lesquelles Ω est l'aire de la section normale, $\Omega \rho^2$ son moment d'inertie par rapport à l'axe my, et dont les seconds membres ne contiennent ainsi que des quantités connues.

DÉTERMINATION DE LA RÉSULTANTE P, RELATIVE A CHAQUE SECTION NORMALE, LORSQUE CETTE RÉSULTANTE EST CONNUE POUR LA SECTION A LA CLEF.

1° Graphiquement.

Si les valeurs de X, Z, M étaient données pour la section normale au point O, que nous appellerons section à la clef, elles seraient connues pour une section quelconque GH. En effet, soient $n_0 P_0$ la position de la résultante P_0 à la clef, g le point d'application de la résultante Z'' des forces appliquées à la partie Om de la fibre moyenne. Le voussoir IGHJ est en équilibre sous l'action des trois forces P, Z'' et $-P_0$, donc la force P est égale et contraire à la résultante des deux autres. Or ces deux dernières étant connues, on pourrait déterminer la première par une construction de statique graphique, analogue à l'épure dite de Méry. On obtiendrait ainsi le point n de la courbe des pressions.

La force $-P_0$ ayant pour composantes horizontale et verticale $-X_0$, $-Z_0$, celles de la force P sont X_0 et $Z_0 - Z''$.

Si la section normale était située à gauche du point O, en Lm'Q par exemple, les forces P_0, $-P'$ égale et contraire à la force P', et Z'' résultante des forces appliquées à la

partie Om' se feraient équilibre sur le voussoir IJQL. Donc la force P′ serait de même intensité et de même sens que la résultante des forces P_0 et Z''. La force P_0 ayant pour composantes horizontale et verticale X_0, Z_0, celles de la force P′ seraient X_0 et $Z_0 + Z''$. Si dans cette dernière expression on considère Z'' comme négative par le motif qu'elle est la somme de forces comptées depuis le point O jusqu'au point m', c'est-à-dire en sens inverse de celui où l'on compte les forces appliquées à la partie Om, la résultante P, qu'elle soit située à droite ou à gauche du point O, aura des composantes horizontale et verticale représentées toujours par les mêmes expressions X_0 et $Z_0 - Z''$.

2° Analytiquement.

Soit ω l'angle de la tangente mx' avec l'axe Ox. Projetons la force P dont les composantes parallèles aux axes Ox, Oz sont X_0, $Z_0 - Z''$, d'abord sur l'axe mx', puis sur l'axe mz' nous obtiendrons pour ces projections qui sont égales à X et Z,

$$(a)\qquad \left\{\begin{aligned} X &= X_0 \cos\omega + (Z_0 - Z'')\sin\omega, \\ Z &= -X_0 \sin\omega + (Z_0 - Z'')\cos\omega. \end{aligned}\right.$$

Pour obtenir l'expression analytique du moment M du couple dû à la translation de la force P au point m, il faut remarquer que ce couple est égal et contraire à la somme des deux couples dus à la translation des forces $-P_0$ et Z'' au même point. La force $-P_0$ étant transportée d'abord du point n_0 au point O engendre le couple $-M_0$, puis, dans le transport du point O au point m dont les coordonnées sont x et z, elle engendre le couple dont le moment est $-X_0 z + Z_0 x$. Ainsi, le couple dû à la translation de la force $-P_0$ du point n_0 au point m, a pour moment $-M_0 - X_0 z + Z_0 x$. Soit γ l'abscisse du point d'application g de la résultante Z''. Cette résultante, transportée au

point m, donne lieu à un couple dont le moment est $-Z''\gamma$. Ajoutant ces deux moments et changeant les signes de tous les termes, on obtient pour l'expression algébrique du moment M,

$$(b) \qquad M = M_0 + X_0 z - Z_0 x + Z''\gamma.$$

Si le point m était situé à gauche du point O, la valeur du moment M serait encore donné par cette expression en tenant compte du signe négatif de Z'', ainsi qu'on doit le faire, d'après ce que nous venons de voir, dans l'expression de Z.

DÉTERMINATION DE P_0.

La résultante P_0 à la clef est déterminée en position et en intensité, lorsqu'on donne les trois quantités X_0, Z_0, M_0. Les trois équations nécessaires pour déterminer ces trois inconnues, s'obtiennent en supposant que les sections extrêmes sont invariables, et que, par suite, les valeurs de δq, δx, δz, dont les différentielles sont données par les équations des pièces prismatiques dans le plan, savoir :

$$(1) \qquad d\delta q = \frac{M}{E\Omega\rho^2}\,ds,$$

$$(2) \qquad d\delta x = \left(\frac{X}{E\Omega} + \tau\right)dx - \left(\frac{Z}{G\Omega} + \delta q\right)dz,$$

$$(3) \qquad d\delta z = \left(\frac{X}{E\Omega} + \tau\right)dz + \left(\frac{Z}{G\Omega} + \delta q\right)dx,$$

sont nulles aux deux extrémités A et B de la pièce; en sorte qu'en les désignant par l'indice 1 en A et par l'indice 2 en B, on aura

$$\delta q_1 = 0, \quad \delta x_1 = 0, \quad \delta z_1 = 0, \quad \delta q_2 = 0, \quad \delta x_2 = 0, \quad \delta z_2 = 0.$$

Or les différences $\delta q_2 - \delta q_1$, $\delta x_2 - \delta x_1$, $\delta z_2 - \delta z_1$, sont

les intégrales définies des seconds membres des équations précédentes, prises depuis le point A jusqu'au point B, et en égalant ces intégrales à zéro, on obtiendra les trois équations nécessaires pour déterminer les trois inconnues X_0, Z_0, M_0.

La première de ces intégrales est

$$\delta q_2 - \delta q_1 = \int_{x_1}^{x_2} \frac{M}{E\Omega\rho^2}\, ds.$$

Remplaçons, dans les équations (2) et (3), δq par l'intégrale indéfinie $\int_{x_1}^{x} \frac{M}{E\Omega\rho^2} ds$, X et Z par leurs valeurs (d); dx, dz par $ds \cos\omega$, $ds \sin\omega$; G par $\frac{E}{\beta}$, β étant le rapport des coefficients d'élasticité longitudinale et transversale ou de torsion, et ces deux équations deviendront, en multipliant par E,

$$E d\delta x = \frac{X_0}{\Omega}\left(\frac{1+\beta}{2} + \frac{1-\beta}{2}\cos 2\omega\right) ds + \frac{Z_0 - Z''}{\Omega}\,\frac{1-\beta}{2}\sin 2\omega\, ds$$
$$+ E\tau dx - dz \int_{x_1}^{x} \frac{M}{\Omega\rho^2}\, ds,$$

$$E d\delta z = \frac{X_0}{\Omega}\,\frac{1-\beta}{2}\sin 2\omega\, ds + \frac{Z_0 - Z''}{\Omega}\left(\frac{1+\beta}{2} - \frac{1-\beta}{2}\cos 2\omega\right) ds$$
$$+ E\tau dz + dx \int_{x_1}^{x} \frac{M}{\Omega\rho^2}\, ds,$$

Intégrons maintenant depuis le point A jusqu'au point B, posons

$$\int_{x_1}^{x_2} \frac{ds}{\Omega} = m,$$

$$\int_{x_1}^{x_2} \frac{\cos 2\omega}{\Omega}\, ds = m',$$

$$\int_{x_1}^{x_2} \frac{\sin 2\omega}{\Omega} ds = m'',$$

$$\int_{x_1}^{x_2} \frac{Z''}{\Omega} ds = \zeta,$$

$$\int_{x_1}^{x_2} \frac{Z'' \cos 2\omega}{\Omega} ds = \zeta',$$

$$\int_{x_1}^{x_2} \frac{Z'' \sin 2\omega}{\Omega} ds = \zeta'',$$

et cherchons ce que deviennent les intégrales doubles:

$$\int_{x_1}^{x_2} dz \int_{x_1}^{x} \frac{M}{\Omega\rho^2} ds,$$

$$\int_{x_1}^{x_2} dx \int_{x_1}^{x} \frac{M}{\Omega\rho^2} ds,$$

En intégrant par partie, on obtient :

$$\int_{x_1}^{x_2} dz \int_{x_1}^{x} \frac{M}{\Omega\rho^2} ds = \left(z \int_{x_1}^{x} \frac{M}{\Omega\rho^2} ds \right)_{x_1}^{x_2} - \int_{x_1}^{x_2} \frac{Mz}{\Omega\rho^2} ds.$$

La substitution de x_1, dans la parenthèse du second membre, donne, pour résultat, zéro. Celle de x_2 donne $z_2 \int_{x_1}^{x_2} \frac{M}{\Omega\rho^2} ds$, résultat nul également, puisque $\int_{x_1}^{x_2} \frac{M}{\Omega\rho^2} ds = (\delta q_2 - \delta q_1) E$. La première intégrale double se réduit donc à :

$$- \int_{x_1}^{x_2} \frac{Mz}{\Omega\rho^2} ds.$$

On trouverait de même que la seconde se réduit à :

$$-\int_{x_1}^{x_2} \frac{\mathrm{M}x}{\Omega\rho^2}\, ds.$$

Remplaçons maintenant M par sa valenr (b) ; posons :

$$z_0 = \int_{x_1}^{x_2} \frac{ds}{\Omega\rho^2}, \qquad z_1 = \int_{x_1}^{x_2} \frac{z}{\Omega\rho^2}\, ds, \qquad z_2 = \int_{x_1}^{x_2} \frac{z^2}{\Omega\rho^2}\, ds,$$

$$\mu_0 = \int_{x_1}^{x_2} \frac{\mathrm{Z}''\gamma}{\Omega\rho^2}\, ds, \qquad \mu_1 = \int_{x_1}^{x_2} \frac{\mathrm{Z}''\gamma z}{\Omega\rho^2}\, ds,$$

$$x' = \int_{x_1}^{x_2} \frac{x}{\Omega\rho^2}\, ds, \qquad x'' = \int_{x_1}^{x_2} \frac{x^2}{\Omega\rho^2}\, ds,$$

$$z' = \int_{x_1}^{x_2} \frac{xz}{\Omega\rho^2}\, ds, \qquad m_2 = \int_{x_1}^{x_2} \frac{\mathrm{Z}''\gamma x}{\Omega\rho^2}\, ds.$$

et les trois équations, obtenues en égalant à zéro les intégrales définies des seconds membres des équations (1), (2) et (3), seront :

$$z_1 \mathrm{X}_0 - x'\mathrm{Z}_0 + \mu_0 + \mathrm{M}_0 z_0 = 0,$$

$$\mathrm{X}_0\left(\frac{\beta+1}{2}\, m - \frac{\beta-1}{2}\, m'\right) + \mathrm{Z}_0\, \frac{1-\beta}{2}\, m'' + \frac{\beta-1}{2}\, \zeta'' + \tau(x_2 - x_1)$$
$$+ \mathrm{X}_0 z_2 - \mathrm{Z}_0 x' + \mu_1 + \mathrm{M}_0 z_1 = 0$$

$$\mathrm{X}_0\, \frac{1-\beta}{2}\, m'' + \mathrm{Z}_0\left(\frac{1+\beta}{2}\, m + \frac{\beta-1}{2}\, m'\right) - \frac{\beta+1}{2}\, \zeta - \frac{\beta-1}{2}\, \zeta'$$
$$+ \tau(z_2 - z_1) - \mathrm{X}_0 z' + \mathrm{Z}_0 x'' - m_2 - \mathrm{M}_0 x' = 0.$$

Le rapport des deux coefficients d'élasticité β est généralement égal à 3. Nous ferons donc :

$$\frac{\beta+1}{2} = 2 \quad \text{et} \quad \frac{\beta-1}{2} = 1.$$

Supposons que la pièce soit partagée en deux moitiés symétriques l'une de l'autre par la section à la clef, les charges pouvant d'ailleurs ne pas participer à cette symétrie, trois des intégrales ci-dessus seront nulles. Ce sont m'', z' et x', car on voit aisément qu'elles sont composées d'éléments égaux deux à deux et de signe contraire. Les trois équations précédentes se simplifient et deviennent :

$$z_1 X_0 + z_0 M_0 + \mu_0 = 0,$$

$$(z_2 + 2m - m')X_0 + z_1 M_0 + E\tau(x_2 - x_1) + \mu_1 + \zeta'' = 0,$$

$$(x'' + 2m + m')Z_0 - m_2 - 2\zeta - \zeta' = 0.$$

On tire de la première :

$$M_0 = -X_0 \frac{z_1}{z_0} - \frac{\mu_0}{z_0},$$

et, en portant cette valeur dans la seconde, on en tire :

$$X_0 = -\frac{\mu_1 - \mu_0 \frac{z_1}{z_0} + E\tau(x_2 - x_1) + \zeta''}{z_2 - \frac{z_1^2}{z_0} + 2m - m'}.$$

C'est la valeur de la poussée. La troisième équation, qui ne contient que l'inconnue Z_0, donne :

$$Z_0 = \frac{m_2 + 2\zeta + \zeta'}{x'' + 2m + m'}.$$

Si les charges étaient symétriques, les trois intégrales m_2, ζ et ζ', qui entrent dans le numérateur de Z_0, seraient nulles, comme composées d'éléments égaux deux à deux et de signe contraire. La composante verticale $Z_0 - Z''$ de la

force P se réduit alors à $-Z''$, quantité qui devient égale à $-\frac{\Pi}{2}$ au point A, et à $+\frac{\Pi}{2}$ au point B, ainsi que cela doit être, Π désignant le poids total de la construction.

CHANGEMENT DE FORME DE LA FIBRE MOYENNE PRODUIT PAR L'APPLICATION DES FORCES EXTÉRIEURES.

Pour obtenir la nouvelle forme que prend la fibre moyenne sous l'action des forces données appliquées à cette fibre, il suffit de déterminer les valeurs de δx et δz en fonction de la variable x par exemple. Ces valeurs sont les intégrales indéfinies des seconds membres des équations (2) et (3). La première de ces intégrales indéfinies contiendra l'intégrale double :

$$-\int_{x_1}^{x_2} dz \int_{x_1}^{x} \frac{M}{E\Omega\rho^2}\, ds,$$

que l'intégration par partie réduit à :

$$-z\int_{x_1}^{x} \frac{M}{E\Omega\rho^2}\, ds + \int_{x_1}^{x} \frac{Mz}{E\Omega\rho^2}\, ds.$$

La seconde contiendra l'intégrale double :

$$\int_{x_1}^{x} dx \int_{x_1}^{x} \frac{M}{E\Omega\rho^2}\, ds.$$

qui se réduira de même à :

$$x\int_{x_1}^{x} \frac{M}{E\Omega\rho^2}\, ds - \int_{x_1}^{x} \frac{Mx}{E\Omega\rho^2}\, ds.$$

Multipliant par E, faisant $\beta = 3$, et désignant les in-

grales indéfinies par les mêmes lettres que les intégrales définies, savoir :

$$\int_{x_1}^{x} \frac{ds}{\Omega} = m, \qquad \int_{x_1}^{x} \frac{\cos 2\omega}{\Omega} ds = m', \text{ etc.}$$

on obtiendra, pour déterminer les valeurs de δx et δz, les équations :

$$\begin{aligned} E\delta x &= X_0(2m - m') - Z_0 m'' + \zeta'' + E\tau(x - x_1) \\ &\quad - z\int_{x_1}^{x} \frac{M}{\Omega\rho^2} ds + \int_{x_1}^{x} \frac{Mz}{\Omega\rho^2} ds, \\ E\delta z &= -X_0 m'' + Z_0(2m + m') - 2\zeta - \zeta' + E\tau(z - z_1) \\ &\quad + x\int_{x_1}^{x} \frac{M}{\Omega\rho^2} ds - \int_{x_1}^{x} \frac{Mx}{\Omega\rho^2} ds. \end{aligned}$$

Tous les calculs indiqués dans les formules précédentes, y compris les intégrales, qui s'obtiendront rapidement, dans tous les cas, par la formule de Thomas Simpson (*), s'effectueront sans difficulté et fourniront les valeurs numériques de R et R', en tout point d'une section normale quelconque, ainsi que les déplacements δx et δz du centre de cette section, produits par l'application des forces extérieures, ce qui résout complètement le problème proposé.

(*) Pour appliquer la formule de Thomas Simpson, il suffira, en effet, de partager le demi-arc moyen en 8 ou 10 parties égales, pour les plus grandes travées, en 6, pour les moyennes, et en 4, pour les travées de faible portée.

NOTE ADDITIONNELLE.

Dans les arcs à retombées articulées comme celui pont du Douro construit par MM. Eiffel et compagnie Porto pour le chemin de fer de Lisbonne à Porto, la secti aux naissances pouvant tourner librement, les vale de δq ne sont plus nulles aux extrémités. Les trois équati fournies par les intégrales définies des équations (1), (2) (3) prises entre $x = -l$ et $x = +l$ contiennent de inconnues de plus δq_1 et δq_2, mais alors deux nouvel équations sont données par la condition que la valeur moment fléchissant M soit nulle aux deux extrémités. coordonnées de ces extrémités étant $x = -l$, $z = f$ gauche et $x = l$, $z = f$ à droite, ces équations sont:

$$(a) \qquad \begin{cases} Z''_2 \gamma_2 + X_0 f - Z_0 l + M_0 = 0, \\ Z''_1 \gamma_1 + X_0 f + Z_0 l + M_0 = 0. \end{cases}$$

Pour obtenir les trois autres nous remarquerons que

$$\delta q = \delta q_1 + \int_{-l}^{x} \frac{M}{IE} ds,$$

et que les intégrales définies

$$\int_{-l}^{l} dz \int_{-l}^{x} \frac{EI}{\mu} ds, \qquad \int_{-l}^{l} dx \int_{-l}^{x} \frac{EI}{\mu} ds,$$

diffèrent dans le cas actuel de celles qui leur correspond dans le cas précédent par l'addition des termes

$$\int_{-l}^{l} \delta q_1 dz + f(\delta q_2 - \delta q_1) \quad \text{et} \quad \int_{-l}^{l} \delta q_1 dx + l(\delta q_2 - \delta q_1)$$

dans lesquels

$$\int_{-l}^{l} \delta q_1 dz = 0 \quad \text{et} \quad \int_{-l}^{l} \delta q_1 dx = 2l\delta q_1.$$

Les trois équations nouvelles différeront donc des anciennes, la première par l'addition de $E(\delta q_2 - \delta q_1)$ dans le second membre, la seconde par l'addition de $-fE(\delta q_2 - \delta q_1)$ et la troisième par l'addition de $lE(\delta q_1 + \delta q_2)$ dans les premiers membres. Elles seront donc,

$$(b) \begin{cases} z_1 X_0 + z_0 M_0 + \mu_0 = E(\delta q_2 - \delta q_1), \\ (z_2 + 2m - m')X_0 + z_1 M_0 + 2l\tau + \mu_1 + \zeta'' \\ \qquad - fE(\delta q_2 - \delta q_1) = 0, \\ (x_2 + 2m + m')Z_0 - m_2 - 2\zeta - \zeta' + lE(\delta q_2 + \delta q_1) = 0. \end{cases}$$

Les deux équations (*a*) donnent, par soustraction,

$$Z^0 = \frac{M_2 - M_1}{2l},$$

en désignant par M_1 et M_2 les moments $Z_1''\gamma_1$, $Z_2''\gamma_2$. Cette valeur est nulle dans le cas de la symétrie des charges car alors $M_2 = M_1$.

Les mêmes équations (*a*) donnent, par addition,

$$M_0 = -fX_0 - \frac{M_1 + M_2}{2}.$$

Retranchant les deux premières équations (*b*) l'une de l'autre après avoir multiplié la première par *f*, on obtient :

$$(z - 2fz_1 + f^2 z_0)X_0 - (fz_0 - z_1)lZ_0 + (fz_0 - z_1)M_2 + \mu_1 \\ - f\mu_0 + \zeta'' + 2l\tau = 0.$$

et en remplaçant Z_0 par sa valeur,

$$X_0 = -\frac{(fz_0 - z_1)\dfrac{M_1 + M_2}{2} + \mu_1 - fz_0 + \zeta'' + 2l\tau}{z_2 - 2fz_1 + f^2 z_0 + 2m - m'}.$$

ce qui fait connaître la poussée X_0.

Les quantités X_0, Z_0, M_0, se trouvent ainsi déterminées et les équations (b) ne contenant plus que δq_1 et δq_2 d'inconnues, la première et la dernière de ces équations déterminent ces inconnues puisqu'elles font connaître leur somme et leur différence.

Le calcul des valeurs de R à l'intrados et à l'extrados s'effectuera d'ailleurs de la même manière que dans le cas des retombées fixes non articulées.

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES.

CHRONIQUE.

Mars 1880.

N° 19

Sur la limitation de la vitesse eu égard au tracé de la voie.

(Compte rendu d'un Mémoire de M. VICAIRE, ingénieur des mines.)

Sous ce titre, M. Vicaire, ingénieur des mines, vient de publier dans la *Revue générale des chemins de fer* une note intéressante dont il paraît utile d'indiquer ici les conclusions pratiques.

On sait quelle est l'influence des pentes sur la vitesse des trains et comment, pour ceux qui transportent les voyageurs, la considération de la sécurité oblige à limiter d'autant plus cette vitesse que les déclivités sont plus prononcées. Jusqu'ici on n'a pas encore déterminé d'une manière, sinon mathématique, au moins rationnelle et plausible, suivant quelle règle cette limitation doit s'opérer et quelle relation doit exister entre la vitesse admissible et la pente. C'est à ce *desideratum* que M. Vicaire s'est proposé de répondre, en fournissant, à défaut de règles théoriques, une base certaine de raisonnements et d'appréciations. Il remarque d'abord que si les courbes sont une cause qui doit exiger une diminution de vitesse, il est assez difficile, eu égard à leur peu de longueur en général, d'imposer aux mécaniciens un maximum absolu qu'il leur serait interdit de dépasser. Il examine ensuite quelle serait la loi de décroissance à adopter pour arrêter un train en face d'un signal fixe ou temporaire, dans un parcours donné et quelle que soit la pente. Il recherche quelles sont les conditions à remplir pour qu'un mécanicien soit maître de son train et quelle

est l'influence du retard au serrage des freins, quand la marche s'accélère sous l'action de la gravité. Des exemples donnent une idée des changements que la vitesse peut éprouver en quelques secondes. Ces considérations conduisent à l'établissement des formules générales du mouvement pendant le serrage, et finalement fournissent une nouvelle échelle des vitesses. L'auteur donne sous forme simple, et en chiffres ronds, les résultats pratiques de son étude; ils peuvent s'énoncer ainsi : *pour chaque accroissement de 5 millimètres dans la pente, la vitesse devra être réduite de 15 kilomètres*. On a de la sorte l'échelle suivante :

PENTE.			MAXIMUM DE VITESSE.
de	0m,000 à	0m,005	100 kilom.
	0 ,005	0 ,010	85 —
	0 ,010	0 ,015	70 —
	0 ,015	0 ,020	55 —
	0 ,020	0 ,025	40 —
	0 ,025	0 ,030	25 —

M. Vicaire estime que, pour des pentes supérieures à 0m,030, on peut, sans inconvénient, conserver la vitesse de 25 kilomètres. Il ajoute, du reste, que les limites ci-dessus sont encore plutôt au-dessus qu'au-dessous de ce qu'indique la prudence, dans les conditions actuelles des chemins de fer. Il conviendra donc, dans l'établissement des itinéraires, de ne jamais les dépasser.

Dans la limitation de la vitesse, il y aurait lieu aussi de tenir compte de la solidité plus ou moins grande de la voie et de la nature du matériel et des machines. Mais comme les conditions de limites auxquelles conduisent ces autres éléments ne se superposent pas à celle qu'on vient d'envisager, il faudra rechercher isolément ce que donne chacun d'eux et prendre comme limite pratique la plus basse de celles auxquelles on parviendra.

Dans ces conditions, il était intéressant d'étudier séparément l'influence de la pente; et le mémoire de M. Vicaire sera consulté avec fruit par tous les ingénieurs qui s'occupent des chemins de fer, et surtout par ceux auxquels est dévolu le service du contrôle de l'exploitation.

Sur la température des eaux souterraines. — Les froids exceptionnels qu'a présentés l'hiver de 1879-1880 ont permis de faire un certain nombre d'expériences concluantes sur la température du sous-sol et celle des eaux souterraines. Cette dernière question, qui intéresse plus spécialement les ingénieurs, a été l'objet d'une communication faite à l'Académie des sciences par M. Alf. Durand-Claye, ingénieur, professeur à l'École des ponts et chaussées. Déjà, en 1868, M. Durand-Claye avait signalé ce fait, que les eaux d'égout conservent toujours une température de + 5° à + 7°, alors que la température moyenne de l'air extérieur peut s'abaisser à — 7°. Les expériences suivies faites en décembre 1879 ont confirmé cette assertion. Dans quelques points même de la canalisation souterraine de Paris, la température était notablement plus élevée : ainsi, elle a varié en + 13° et + 19° dans le tronc qui dessert Montmartre et la Chapelle; mais cette exception paraît due aux eaux de condensation et aux eaux industrielles que les usines y déversent.

L'influence de cette température supérieure à celle de l'air s'est bien nettement manifestée en deux points. Entre Clichy et Argenteuil, la moitié du lit de la Seine qui avoisine le débouché du collecteur ne s'est pas prise, tandis que l'autre moitié était congelée et qu'en amont la rivière était glacée sur toute sa largeur. Dans la plaine de Gennevilliers, on a pu, en continuant les irrigations avec les eaux d'égout, débarrasser complètement la terre de la neige qui la couvrait et récolter divers produits, principalement des légumes. Les drains situés dans la nappe d'infiltration qui s'étend sous cette plaine, et à une profondeur variant de 2 à 4 mètres, contenaient, pendant les plus grands froids, de l'eau dont la température est toujours restée comprise entre + 11° et + 13°.

M. Durand-Claye estime qu'en déversant directement les eaux d'égout dans la traversée de la Seine dans Paris, on aurait peut-être pu empêcher la congélation de la rivière et par suite éviter tous les dangers et les dégâts qu'a causés la débâcle. C'est une expérience qu'il serait intéressant de tenter si de pareilles circonstances se reproduisaient.

Nivellement expéditif. — La nécessité de mener rapidement les études des lignes de chemins de fer entreprises par l'État, et qu'on doit construire à peu près en même temps dans toute la France, a conduit à rechercher pour les relevés sur le terrain des procédés à la fois exacts et expéditifs, afin d'arriver au maximum de travail produit dans le minimum de temps employé. A ce point de vue,

nous croyons qu'il pourra être utile aux ingénieurs de connaître une méthode de nivellement rapide imaginée par M. Gaunin, ingénieur auxiliaire aux chemins de fer de l'État, et que nous allons décrire succinctement.

Cette méthode, qui implique nécessairement l'emploi du niveau Lenoir à cuvette, consiste à se servir en même temps de deux niveaux et de deux mires; par suite la brigade d'opérations réduite à son strict minimum doit comprendre un opérateur, un aide-bulleur et deux porte-mires. Il est généralement avantageux d'y adjoindre un agent qui sache faire une lecture sur une mire et tenir un carnet de nivellement. Son rôle consiste entre autres choses à lire les cotes en même temps que l'opérateur; ce contrôle réciproque empêche la production d'erreurs notables.

Pendant que l'opérateur, ayant un niveau mis en station, relève les altitudes des points dont il a besoin, l'aide-bulleur est en avant avec le second niveau; il le met en place pour la station suivante et règle l'horizontalité du plateau avec une bulle sans lunette qu'il porte avec lui. Il s'ensuit que l'opérateur, ayant terminé son travail à la précédente station, trouve en arrivant à la suivante un niveau tout prêt et tout réglé; il n'a plus qu'à vérifier sommairement l'horizontalité du plateau, en y plaçant sa lunette avec la bulle qui y est accouplée, et à faire les lectures, s'il trouve l'installation bonne. C'est, on le voit, une première économie de temps.

La seconde résulte de l'emploi de la deuxième mire que l'opérateur arrivant à une station nouvelle trouve toute prête sur le premier piquet à niveler. Cette manière de faire évite des arrêts auxquels on ne peut se soustraire dans le nivellement ordinaire et qui ont pour cause le temps perdu par le porte-mire, quand il se transporte du point où s'est donné le coup arrière sur celui où doit se donner le coup avant. L'emploi d'une deuxième mire présente aussi cet avantage que le bulleur se trouve guidé par elle pour choisir convenablement le point de station du second niveau. Quand la brigade comprend un lecteur cet, agent en quittant la station où l'on vient d'opérer emporte le niveau qu'il remet au bulleur en arrivant à la station suivante. Mais comme le personnel dont on dispose actuellement est peu nombreux, il semble qu'on puisse aisément se passer de ce dernier agent. C'est alors l'opérateur ou un manœuvre qui emportera le niveau d'une station à l'autre.

En procédant de la sorte, on peut faire jusqu'à 10 kilomètres de nivellement par jour; l'inventeur a pu même aller jusqu'à 16 kilomètres sur une route accidentée de Bretagne.

On conçoit toutefois que cette méthode ne met pas à l'abri des causes ordinaires d'erreurs dont les principales sont : le défaut de verticalité des mires, la variation de leur point d'appui quand on passe du coup avant au coup arrière, la variation de sensibilité de la bulle avec la température, etc.

Pour s'affranchir des plus importantes et en même temps vérifier le travail au fur et à mesure qu'il se fait, M. Gaunin a modifié sa méthode de la manière suivante. La brigade reste composée comme dans le cas précédent et on continue à employer deux niveaux et deux mires. Mais au lieu de donner un coup avant sur le seul et unique piquet qui recevra le coup arrière dans la station suivante, il fait installer la seconde mire sur un piquet auxiliaire, distant de quelques mètres du précédent et autant que possible à un niveau sensiblement différent, et il fait donner un coup avant sur chacune des deux mires. Puis l'opérateur se transporte à la station suivante, en laissant en place le niveau qu'il quitte; arrivé au nouveau poste d'observation, il donne un coup arrière sur chacune des mires et, séance tenante, il calcule la différence d'altitude des deux stations en se servant d'une part des lectures faites sur le piquet principal, d'autre part de celles qui se rapportent au piquet auxiliaire. Il est clair que les deux résultats doivent être les mêmes. S'il n'en est pas ainsi, on est certain qu'une erreur s'est produite; il faut recommencer les opérations pour la découvrir et la corriger immédiatement. Cette répétition exige peu de temps grâce à la précaution qu'on prend de laisser le premier niveau en place tant qu'on n'a pas vérifié les résultats obtenus.

Cette seconde méthode est évidemment plus longue. Son exactitude ne peut plus être entachée que par des erreurs de lecture qui se produiraient simultanément et dans le même sens sur les deux mires; c'est un cas peu probable, et ces inexactitudes sont de celles qu'on relève le plus facilement. La rapidité d'exécution dépendra du degré d'habileté du personnel composant la brigade d'opération. Des agents exercés peuvent produire de 6 à 7 kilomètres de nivellement par jour, tout en obtenant des résultats sur l'exactitude desquels on peut compter d'une manière presque absolue.

Construction de chemins de fer aux États-Unis. — L'année 1879 a été signalée aux États-Unis par un mouvement considérable dans la construction de nouvelles voies de chemins de fer. Quoique les compagnies n'aient pas encore publié leurs rapports, les longueurs

livrées au trafic sont actuellement connues d'une manière à p
près exacte. Nous les donnons ici d'après l'*Engineering News*.

NOMS DES ÉTATS où se trouvent les nouvelles lignes.	LARGE VOIE.	VOIE ÉTROITE.	TOTAL.
	kilom.	kilom.	kilom.
Arizona	246,0	»	246,0
Arkansas	»	14,5	14,5
Colorado	11,0	96,5	107,5
Dakota	354,0	»	354,0
Georgia	16,0	40,0	56,0
Illinois	145,0	»	145,0
Indiana	119,0	65,0	184,0
Iowa	523,0	74,0	597,0
Idaho	»	145,0	145,0
Kansas	801,5	»	801,5
Kentucky	104,5	»	104,5
Louisiana	104,5	»	104,5
Maine	»	30,0	30,0
Maryland	30,0	»	30,0
Massachusetts	18,0	»	18,0
Michigan	19,5	67,0	86,5
Minnesota	634,0	»	634,0
Missouri	259,0	43,5	302,5
Nebraska	201,0	»	201,0
Nevada	»	56,5	56,5
New Jersey	6,5	»	6,5
New Mexico	201,0	»	201,0
North Carolina	40,0	»	40,0
New York	108,5	9,5	118,0
New Hampshire	»	15,5	15,5
Ohio	169,0	174,5	343,5
Oregon	48,5	»	48,5
Pennsylvania	22,5	8,0	30,5
South Carolina	»	3,0	3,0
Tennessee	191,5	92,0	283,5
Texas	193,0	108,5	301,5
Utah	133,5	74,0	207,5
Virginia	47,5	»	47,5
West Virginia	»	32,0	32,0
Wisconsin	96,5	24,0	120,5
Total	4.844,0	1.173,0	6.017,0

On voit d'après les chiffres qui précèdent, que les États qui
le plus construit en 1879, sont celui du Kansas, de Minne
d'Iowa, de Dakota et d'Ohio.

Il faut aussi remarquer que malgré la campagne ouverte
plusieurs journaux américains, contre les chemins à voie étr
il en a été construit environ 1.173 kilomètres, c'est-à-dire prè
quart de ce qui a été établi en 1879.

N° 20

PAROLES PRONONCÉES

le 17 février 1880

AUX OBSÈQUES DE M. LÉONCE REYNAUD,

INSPECTEUR GÉNÉRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES DE 1re CLASSE,

1° PAR M. LALANNE,

Inspecteur général des ponts et chaussées.

Ce n'est pas en présence de cette tombe ouverte qu'il serait possible de dire de l'homme éminent qui va y reposer tout ce que comportent sa longue carrière et les services qu'il a rendus. Ses collaborateurs les plus appréciés parleront avec quelques détails de ses travaux et particulièrement de son œuvre principale qui, par sa nature même, est destinée à grandir encore, bien loin qu'on puisse craindre de la voir s'amoindrir.

C'est donc surtout à titre d'ancien condisciple et d'ami que le doyen d'âge du Corps des Ponts et Chaussées retracera en quelques mots les traits principaux d'une vie qui ne fut pas sans épreuves, si heureuse qu'elle ait été à tant d'égards.

François-Léonce Reynaud était né à Lyon en 1803. Des revers de fortune déterminèrent son père à revenir à Thionville son pays d'origine, et ce fut au Collège de cette ville, patrie du célèbre conventionnel Merlin, ami de sa famille, que Léonce et ses frères commencèrent leurs études. Avant même que la mort de leur père eût donné à Merlin de Thionville la qualité de subrogé-tuteur, l'influence que son contact et les soins d'une mère d'un rare

mérite exercèrent sur leurs premières années s'est fait sentir d'une manière ineffaçable sur la vie entière de Léonce Reynaud et de ses frères. L'un, Jean Reynaud s'est illustré dans la philosophie spéculative et a joué un rôle digne d'éloges à l'Assemblée constituante de 1848; l'autre, le vice-amiral Saint-Elme Reynaud, a parcouru, dans la marine, une brillante carrière. Parmi leurs amis survivants, ceux qui ont assez vécu pour assister à leurs débuts dans la vie active, ne peuvent se rappeler sans émotion les trois frères dans toute la sève de leur jeunesse, doués d'un extérieur à l'avenant de leurs rares qualités, groupés autour d'une mère vénérée à laquelle ils rapportaient toutes les pensées d'un avenir qui n'a manqué à aucun d'eux.

Entré à l'École Polytechnique en 1821, violemment exclu au bout d'un an pour l'expression trop hardie d'opinions politiques franchement libérales, Léonce Reynaud s'était adonné à l'architecture et avait perfectionné, par l'étude des grands monuments de l'Italie, les connaissances premières acquises à l'École des Beaux-Arts. Autorisé en 18[illegible] à venir prendre rang parmi les élèves ingénieurs de 2e classe des Ponts et Chaussées, la politique intervenant pour réparer le mal qu'une autre politique avait fait, il entra dans cette nouvelle carrière avec sept ans de retard sur ses camarades de promotion de l'École Polytechnique. Mais ses heureuses facultés, aidées d'une remarquable puissance de travail, lui firent bientôt regagner le rang qu'il avait perdu. Ingénieur ordinaire en 1835, ingénieur en chef en 1843, inspecteur général de 2e classe en 18[illegible], de 1re classe en 1867, attaché au service des phares, d'abord en qualité de collaborateur de Léonor Fresnel, le frère et le digne successeur de l'illustre Augustin Fresnel, puis ensuite directeur du service et continuateur autorisé de l'œuvre inaugurée par les deux frères, avec la collaboration des plus éminents représentants des services de la marine; professeur d'architecture à l'École Polytechnique

et à l'École des Ponts et Chaussées; finalement Directeur de cette Ecole pendant les quatre dernières années de sa carrière, il dut résigner ces dernières fonctions en 1873, lorsqu'il fut atteint par la limite d'âge.

Il avait, d'ailleurs, marqué son passage à la Direction de cette École qu'il connaissait si bien et où il avait restauré depuis trente ans l'enseignement de l'architecture, par d'importantes modifications dans les aménagements intérieurs, par l'édification de la belle salle des modèles, par la publication des catalogues de la bibliothèque et des objets qui enrichissent nos galeries. Il avait pris aussi une part active à l'organisation de toutes les expositions universelles qui se sont succédé depuis 1855.

Mais la retraite à laquelle il avait droit ne marqua pas encore pour lui l'heure du repos. Prorogé dans l'exercice de ses fonctions de Directeur du service des phares, par décision ministérielle du 25 octobre 1873, en application de l'article 47 du décret du 9 novembre 1853, relatif à l'exécution de la loi du 9 juin 1853 sur les pensions civiles, il put présider encore pendant cinq ans à cet important service. Cette prorogation, sans exemple parmi les inspecteurs généraux, avait été sollicitée par la Commission des Phares, informée des vœux que les ingénieurs des services maritimes chargés de l'éclairage des côtes formaient à ce sujet (*).

Alors même qu'il avait été exonéré de toute responsabilité directe dans ce service, objet de sa prédilection, il était resté membre de la Commission. Il avait pareillement continué à présider la Commission de l'Atlas des Ports sous la

(*) A peu près à la même époque le jury international de l'Exposition universelle de Vienne décernait à Léonce Reynaud un diplôme d'honneur sur le simple exposé fait par les commissaires ançais MM. l'Inspecteur général Kleitz et l'Ingénieur ordinaire ard (*Rapport sur les travaux du Génie civil*, par M. Kleitz, Pa-, imprimerie nationale, MDCCCLXXV).

direction de laquelle quatre volumes ont déjà été terminés.

Cette importante publication n'est pas la seule dont il se soit occupé. Le traité d'Architecture, le mémoire sur l'éclairage et le balisage des côtes de France, contribueront à faire vivre son nom, autant peut-être que les admirables travaux exécutés pour l'éclairage du littoral, placés moins en vue et qui ne peuvent guère être appréciés à leur juste valeur que par des hommes spéciaux.

C'est à ses collaborateurs principaux à dire ce qu'il a été pour eux comme chef, comme guide et comme maître. Mais ceux qui l'ont connu dans les dernières années de sa vie savent à quel point lui-même avait conservé le souvenir de ses anciens chefs, quelle sollicitude active, quelles démarches multipliées lui inspirait le sort des familles d'ingénieurs atteintes par l'infortune, avec quelle persévérance il faisait valoir les titres de ses collaborateurs, ne pensant pas que sa bienveillance ne dût pas s'étendre jusqu'à ceux qui occupent les plus modestes emplois. Sa qualité de Président de l'Association amicale des anciens élèves de l'École Polytechnique lui a donné l'occasion de connaître et de contribuer à soulager bien des misères. Son affection générale pour la grande confraternité polytechnicienne ne nuisait d'ailleurs en rien à ses sentiments de prédilection particulière pour les Ponts et Chaussées. Il ressentait vivement tout ce qui pouvait porter atteinte à la solide organisation de notre Corps, résultat d'une expérience plus que séculaire, et il citait avec un légitime orgueil les titres nouveaux qu'il lui voyait acquérir à l'estime publique, ne parlant qu'avec réserve de la part qu'il y ajoutait par lui-même.

Malgré tout ce qu'il y a de cruel dans cette disparition d'un des hommes qui l'ont le plus honoré, on peut dire qu'un Corps n'est pas près de dégénérer lorsqu'il a de pareils représentants, et qu'ayant le chagrin de les perdre, il sait honorer leur mémoire comme elle le mérite.

Puisse l'expression des hommages que nous rendons aux services et à la personne de Léonce Reynaud contribuer à adoucir la douleur de sa famille!

2° PAR M. E. ALLARD,

Inspecteur général de 2e classe, chargé du service central des Phares.

Je ne veux pas laisser refermer cette tombe sans venir, au nom du service des Phares, exprimer les regrets que cause à tous ceux qui en font partie, la mort de celui qui l'a si longtemps dirigé.

Au milieu des fonctions multiples et variées dont M. Reynaud a été chargé pendant le cours de sa longue carrière, il affectionnait particulièrement ce service dans lequel il trouvait à déployer à la fois ses qualités d'habile architecte et d'ingénieur éminent. Il a débuté par la construction du phare des Héaux de Bréhat, établi loin des côtes sur une roche isolée en mer, et il a su donner à cet édifice un caractère de force et de grandeur, que malheureusement bien peu de visiteurs peuvent aller admirer. M. Léonor Fresnel dirigeait alors le service central des Phares dans lequel il avait succédé à son illustre frère Augustin. Celui-ci avait donné un grand essort à l'éclairage des côtes en imaginant les appareils lenticulaires qui portent son nom. M. Reynaud contribua puissamment à développer les applications de ce nouveau système d'éclairage, d'abord sous les ordres de M. Léonor Fresnel, puis ensuite comme chef de service. De 1841 à 1877 il a fait établir sur les côtes de France près de 250 phares ou fanaux qui sont venus s'ajouter aux 120 feux allumés antérieurement. Un des derniers ouvrages entrepris sous sa direction est la tour d'Ar-

Men, commencée il y a 12 ans sur une pointe de rocher de la chaussée de Sein, et qui, malgré des difficultés tout à fait exceptionnelles, ne tardera pas à être terminée. M. Reynaud y attachait un intérêt passionné et eût été légitimement fier de voir inaugurer un phare qui sera cité dans l'avenir comme une des œuvres les plus hardies de l'époque.

M. Reynaud ne s'est pas contenté d'agir, et de tripler le nombre des phares qui entourent la France; il a voulu consigner dans un ouvrage les principes qui président à la distribution des feux le long du littoral, à la construction des édifices et à l'établissement des appareils d'éclairage.

Cet ouvrage, que l'administration a fait publier en 1864, contient tout ce qu'on savait alors sur l'éclairage et le balisage des côtes. C'est un recueil précieux pour ses successeurs, et les ingénieurs étrangers l'ont accueilli avec empressement pour les guider dans leurs travaux.

Lorsque l'âge amena pour M. Reynaud le moment de quitter ses fonctions actives, l'administration ne voulut pas se priver complètement de son concours et elle le maintint comme membre de la Commission des Phares. M. Reynaud exerçait dans cette Commission une légitime influence et ses avis, dictés par un esprit expérimenté et prudent, avaient la plus grande autorité. C'est au moment où il allait aborder avec ses collègues l'étude d'un programme de l'éclairage électrique des côtes, que la mort est venue le surprendre et nous priver tous de ses précieux conseils.

La perte inattendue de cet homme éminent afflige vivement tous ceux qui ont été ses collaborateurs ou ses subordonnés, et c'est avec une douleur véritable qu'ils viennent ici lui dire un dernier adieu.

3° Par **M. DE DARTEIN**,
Ingénieur en chef des ponts et chaussées.

Élève de M. Reynaud aux Écoles Polytechnique et des Ponts et Chaussées et devenu son successeur au professorat dans ces deux écoles, je viens exprimer devant la tombe de ce maître éminent la douleur et les regrets de ses anciens élèves, douleur et regrets motivés, non seulement par les mérites de l'Ingénieur, du Professeur, de l'Architecte, mais aussi par les hautes et précieuses qualités du cœur, qui inspiraient à tous, pour un tel homme, une profonde estime et une respectueuse affection.

De ses services publics, de sa puissante et féconde intelligence, de son noble talent d'artiste et d'écrivain, il ne reste rien à dire après les paroles qui viennent d'être prononcées. Et d'ailleurs, mieux que des paroles, si fortes et si justes qu'elles soient, les œuvres de M. Reynaud portent témoignage pour lui. La tour de Brehat et tant d'autres phares élevés sur le littoral de notre pays, le Traité d'Architecture, le mémoire sur l'Éclairage et le Balisage des côtes de France, les Travaux Publics de la France, l'Atlas des Ports maritimes, sont d'insignes monuments qui ont porté très haut et très loin le nom de leur auteur.

Le prestige personnel, obtenu par de tels travaux, donnait à M. Reynaud une grande autorité sur tous ses élèves et particulièrement sur ceux d'entre eux qui avaient plus tard l'honneur de servir le pays sous ses ordres. Mais loin de faire sentir cette autorité, il s'appliquait à la rendre légère, à la faire aimer; et il y parvenait sûrement par son urbanité, sa bienveillance, son indulgence pour les fautes vénielles ou involontaires. Il savait stimuler le zèle en utilisant les aptitudes; et, laissant à chacun, selon ses moyens, une juste part d'initiative et de responsabilité, il élevait ses

subordonnés au rang de collaborateurs. Ainsi dirigé, le travail devenait attrayant; on s'y intéressait, et bientôt, à l'exemple du chef, on s'y dévouait. Comment s'épargner à la peine quand ce chef n'a que le bien public en vue; quand on sait que, après le succès, il fera chaleureusement valoir les services de ses auxiliaires, se contentant pour lui-même de laisser parler l'œuvre. C'est ainsi qu'agissait M. Reynaud; non seulement sa haute capacité, mais encore sa justice, sa probité morale, son désintéressement personnel inspiraient une confiance sans bornes.

Il avait la passion du bien public; loin de faire deux parts de son existence, l'une vouée aux devoirs professionnels, l'autre consacrée à des occupations personnelles, chose possible et même facile avec une organisation comme la sienne, il se donnait complètement aux fonctions qu'il avait acceptées. Quelles plus belles preuves en pourrait-on présenter que les ouvrages mêmes qu'il a écrits? Chacun d'eux répond à l'une des phases de sa carrière et témoigne, par sa perfection, du zèle de son auteur pour le service de l'État. Il semble que, dans tous ses travaux, il se soit imposé, par conscience, l'obligation d'épuiser son sujet.

Dans tout ce qui touche au devoir, cet homme de bien était pour lui-même, consciencieux jusqu'au scrupule. En proie aux atteintes de la maladie, nous l'avons vu, non sans inquiétude, remplir jusqu'au bout, l'année dernière, et encore cette année il y a peu de jours, le rôle de Président de notre Association amicale des anciens élèves de l'École Polytechnique. A un âge où l'on a le droit de se renfermer dans le cercle de la famille, il s'exposait à des fatigues qui pouvaient devenir mortelles; et cela tout simplement, avec une parfaite égalité d'âme. Noble exemple, hélas d'autant plus saisissant que la mort s'est chargée de le mettre en relief.

De tels actes de dévouement montrent aussi combien

M. Reynaud aimait l'École Polytechnique, cette École où, ramené par le renom de son talent, il enseigna durant trente années, captivant et charmant son auditoire, et marquant profondément sa trace par la création d'un cours excellent qui, développé dans le Traité d'Architecture, est entre les mains de tous les architectes de la France et de l'Étranger. Plein de bienveillance pour ses élèves, ce maître si complet les suivait avec sollicitude après leur sortie de l'École, particulièrement aux Ponts et Chaussées où il continuait son enseignement de l'École Polytechnique. Il s'intéressait à leurs études, à leurs missions; et plus tard donnait cordialement à ses jeunes camarades ses conseils et son appui. Qui pourrait en témoigner plus que moi, dont il fut le bienfaiteur si généreux, si délicat et si constant.

La mort paraît cruelle quand elle emporte de tels hommes; quand violemment elle les arrache, dans la plénitude de leurs facultés intellectuelles, à la tendre affection de leur famille, aux liens de l'amitié et à ces autres liens que créent d'une part une direction bienveillante, et de l'autre, un profond et respectueux attachement.

Devant la tombe de notre cher maître, nous tous ses élèves, bénissons affectueusement sa mémoire; promettons-nous de garder son image vivante au fond du cœur et d'imiter les rares vertus dont il montra l'exemple; par là, nous continuerons à l'honorer dignement après sa mort et nous lui donnerons la plus noble récompense qu'un homme puisse obtenir ici-bas.

4° Par M. PRADELLE,

Secrétaire de la Société amicale de secours des anciens élèves de l'École Polytechnique.

C'est au nom de la Société amicale de secours des anciens élèves de l'École Polytechnique, que je viens adresser un dernier adieu à l'homme de cœur qui en fut le Président.

Vous avez connu l'Ingénieur éminent, le Professeur distingué; vous l'avez vu dans les Conseils montrer l'élévation de son esprit, la sagacité de son jugement, la ferme droiture de son caractère. Nous, ses collègues du Comité de secours, nous avons pu apprécier chaque jour ses sentiments de charité et de camaraderie.

M. Reynaud comptait parmi les premiers fondateurs de notre Association. Vice-Président de son Comité dès l'origine, Président pendant ces quatre dernières années, il s'y était dévoué tout entier, et il a puissamment contribué à son développement.

Ce sont là, Messieurs, les dernières œuvres de sa vie, lesquelles, à cette heure suprême, l'accompagnent noblement au sein de l'éternité.

Vénéré et cher Président, au nom de tous les membres de la grande Société Polytechnique, au nom des familles infortunées qu'elle soutient, nous vous apportons notre dernier adieu en ce monde et le témoignage de notre profonde douleur.

N° 21

CANAL DE LA MARNE AU RHIN.

EXHAUSSEMENT A 2 MÈTRES DU MOUILLAGE.

MÉMOIRE

Par M. PICARD, Ingénieur des ponts et chaussées,
attaché au service du Canal,
et M. BRUNIQUEL, Ingénieur en chef des ponts et chaussées,
attaché à la compagnie des chemins de fer de l'Est (*).

EXPOSÉ.

Imperfection actuelle des canaux. — Malgré les services incontestables qu'ils rendent à l'industrie et au commerce, les canaux compris dans notre réseau de navigation intérieure sont encore des voies de transport très imparfaites au double point de vue de leur construction et de leur exploitation.

Variété de leurs dimensions. — Créés à des époques très diverses, établis par tronçons successifs et parfois sans plan d'ensemble bien arrêté, ils comportent la plus grande dissemblance aussi bien pour leur mouillage que pour les dimensions de leurs écluses. Le tableau inséré à la page 104 et suivantes de l'étude historique et statistique sur les voies de communication de la France par M. Lucas en fournit la preuve frappante : on y voit la profondeur d'eau, comme

(*) La collaboration de M. Bruniquel s'applique au relèvement des ponts du chemin de fer de Paris à Strasbourg sur le Canal (Voir p. 314 et 329).

la largeur et la longueur des sas, varier dans les limites les plus étendues.

La batellerie ayant ainsi à passer par des gabarits très différents, lorsqu'elle parcourt de grandes distances, est naturellement astreinte à s'adapter au gabarit le plus étroit et perd le profit des sacrifices que l'État s'est imposés pour donner plus d'ampleur à certaines mailles du réseau.

Au lieu de circuler indistinctement dans toute la France, comme les wagons de chemins de fer, les bateaux en sont réduits à localiser leurs trajets et souvent contraints, soit à des ruptures de charge, soit à des transbordements.

Cet état de choses absolument contraire à la destination des canaux qui ne sont réellement utiles que pour les longs transports, pouvait être, dans une certaine mesure, tolérable avant l'exécution des voies ferrées alors que, malgré ses défauts, la navigation présentait néanmoins de larges avantages sur l'emploi des voies de terre et que les relations commerciales n'avaient pas pris leur développement actuel. Mais aujourd'hui il est absolument inacceptable et appelle un remède radical et rapide.

Défectuosité de leur exploitation. — L'exploitation est peut-être plus défectueuse encore.

La traction se fait péniblement par chevaux et même à bras d'hommes. On a, il est vrai, tenté quelques essais de halage mécanique, de touage, de transport par bateaux à vapeur; mais jusqu'ici ces expériences ont été fort limitées et les industriels auxquels en revenait l'initiative se sont buttés contre des difficultés qui les ont souvent arrêtés et qu'il faudra cependant vaincre à tout prix.

Les opérations de chargement et de déchargement s'effectuent généralement de la manière la plus barbare et la plus primitive, et ce n'est que de loin en loin que l'on rencontre des installations un peu perfectionnées basées sur l'utilisation d'engins mécaniques.

Dans de telles conditions, les canaux ne peuvent remplir

convenablement la fonction qui leur est assignée et jouer utilement le rôle d'auxiliaires et de modérateurs qui leur est dévolu à côté des chemins de fer, pour le transport des matières lourdes et de peu de valeur.

Programme arrêté par l'administration supérieure pour remédier à la situation. — Depuis longtemps les organes du commerce ont jeté le cri d'alarme et le parlement s'en est vivement ému; il est à peine nécessaire de rappeler l'enquête ouverte par l'Assemblée nationale après la dernière guerre et les remarquables rapports de M. Krantz, alors député à cette assemblée.

De son côté l'administration ne cessait de se préoccuper de la question et cherchait, d'une part à réaliser l'amélioration qui lui incombait plus spécialement, c'est-à-dire l'unification du gabarit, et d'autre part à encourager l'industrie privée dans ses efforts pour perfectionner l'exploitation.

Ses tendances à cet égard se sont accusées et ont pris le caractère d'un véritable programme :

1° par les décisions ministérielles des 20 juillet 1877 et 28 juin 1878 qui ont fixé pour l'avenir le mouillage des canaux neufs à 2 mètres et la longueur utile de leurs écluses à 38m,50 et qui ont admis le remaniement successif des anciens canaux pour leur appliquer ces nouvelles dimensions ;

2° par les projets de loi que M. le ministre des travaux publics a élaborés et soumis au parlement depuis 1878 pour l'amélioration et l'extension du réseau national de voies navigables.

Il y a donc tout lieu d'espérer que la transformation si vivement réclamée par l'opinion et l'intérêt publics sera promptement achevée.

Réalisation de ce programme pour le canal de la Marne au Rhin. — Déjà le canal de la Marne au Rhin subit cette transformation (*).

(*) Ce canal est devenu une voie de premier ordre; son tra-

L'augmentation à 2 mètres du mouillage, déclarée d'utilité publique par la loi du 24 mars 1874 pour la section empruntée par le canal de l'Est entre Void et Jarville près Nancy, est à peu près accomplie; elle est en voie de réalisation pour le surplus du canal, en vertu d'un décret présidentiel du 8 novembre 1877.

L'administration supérieure a d'ailleurs approuvé récemment un projet relatif à l'allongement d'un premier groupe d'écluses; ce travail sera sans doute exécuté à bref délai.

De nombreux quais d'embarquement et de débarquement se construisent aux frais exclusifs ou tout au moins avec un large concours des usagers; les industries riveraines préparent l'installation d'apparaux de chargement.

Des améliorations accessoires et multiples se réalisent en même temps, ou ne tarderont pas à être entreprises.

Objet du mémoire : Renseignements sur les travaux d'exhaussement du mouillage. — Il y a là un précédent que nous n'avons point la prétention de donner comme un modèle à imiter en tous points, mais qui peut du moins fournir d'utiles renseignements et éviter des tâtonnements sur d'autres voies navigables.

Plusieurs de nos camarades ayant bien voulu nous demander à diverses reprises des indications sur les dispositions adoptées, les moyens mis en œuvre et les dépenses faites ou prévues pour les améliorations ci-dessus énumérées, nous avons pensé qu'il pourrait y avoir un intérêt d'actualité à en faire l'objet de comptes rendus en commençant par le travail qui est le plus avancé, c'est-à-dire par l'accroissement du mouillage : tel est l'objet du présent mémoire.

Nous bornerons en général nos renseignements à la section du canal qui est dans nos attributions et plus spécia-

---

fic annuel kilométrique a atteint 600.000 tonnes en 1877 et le mouvement de ses ports s'est élevé à 1.500.000 tonnes, dont 1.200.000 tonnes dans le seul département de Meurthe-et-Moselle.

lement au département de Meurthe-et-Moselle; mais ces renseignements pourront être considérés comme s'appliquant également, à peu de chose près, aux départements de la Marne et de la Meuse.

PREMIÈRE PARTIE.

RELÈVEMENT DE LA CUVETTE ET AMÉLIORATIONS S'Y RATTACHANT.

CHAPITRE Ier.

RELÈVEMENT DE LA CUVETTE.

---

§ 1er. — Augmentation du mouillage par l'exhaussement du plan d'eau et nomenclature des travaux que comporte cet exhaussement.

Augmentation du mouillage par l'exhaussement du plan d'eau. — La première question à résoudre a été celle du choix entre l'abaissement du plafond du canal et le relèvement du plan d'eau.

De ces deux modes de procéder, le premier offrait l'avantage, sinon d'éviter, du moins de réduire l'exhaussement d'un grand nombre de passages supérieurs; mais en revanche il présentait l'inconvénient :

— de nécessiter l'abaissement fort pénible et parfois presque impossible du radier des ouvrages d'art et notamment des écluses et des ponts-canaux;

— de comporter l'enlèvement de déblais saturés d'eau et passés à l'état de vases;

— d'exiger la démolition et la réfection d'une partie des chapes d'étanchement;

— enfin d'obliger à des interruptions de navigation et à

des chômages d'été absolument incompatibles avec le trafic considérable du canal et avec la salubrité publique.

L'hésitation n'était donc pas possible et l'on s'est immédiatement arrêté à la seconde solution, c'est-à-dire à l'exhaussement du plan d'eau.

Observations sur les chômages. — Nous ne croyons pas inutile de faire connaître à cette occasion que les ingénieurs se sont imposé comme règle de ne plus solliciter de l'administration supérieure qu'en cas d'absolue nécessité la mise à sec du canal de la Marne au Rhin durant l'été.

Dans cette saison, les chômages sont désastreux pour l'industrie; un grand nombre d'usiniers évaluent au minimum de 500 francs par jour les pertes que leur font éprouver ces chômages, lors même qu'ils en ont été avisés par avance et qu'ils ont pu ainsi prendre les mesures de précaution nécessaires.

Les réparations qui rendent indispensable la vidange des biefs s'effectuent exclusivement en hiver pendant le mois de janvier, c'est-à-dire à une époque où les gelées et les crues des rivières canalisées en relation avec le canal empêcheraient ou amoindriraient inévitablement la circulation des bateaux.

Opérations que comporte l'exhaussement du plan d'eau. — L'exhaussement du plan d'eau comprend trois opérations bien distinctes, dont nous traiterons successivement, savoir :

1° le relèvement de la cuvette et des ouvrages qui s'y rattachent;

2° celui des passages supérieurs qui ne laissent plus une hauteur libre suffisante pour le passage des bateaux;

3° le développement des ressources alimentaires pour faire face au supplément de dépenses résultant de l'augmentation des pertes par filtration.

Nomenclature des travaux nécessaires pour le relèvement de la cuvette. — Le relèvement de la cuvette que nous ex-

minerons dans le présent chapitre, comporte lui-même l'exhaussement :

1° des digues et, par suite, de l'empierrement du chemin de halage;

2° des revêtements maçonnés, tels que bajoyers d'écluses, bajoyers de ponts-canaux, murs de quai, murs de soutènement sous les ponts, perrés aux abords des écluses et des autres ouvrages d'art, etc.;

3° des plates-formes des ponts tournants;

4° des portes d'écluses;

5° des déversoirs;

6° des chapes bétonnées ou des corrois d'étanchement.

§ 2. — Exhaussement des digues.

Dispositions de l'ancien profil des digues. — Le profil type ancien du canal, dans le département de Meurthe-et-Moselle, est donné par la Pl. 9, *fig.* 1.

Il était disposé pour un mouillage de $1^m,60$.

Les digues présentaient :

— un relief de $2^m,30$ au-dessus du plafond;

— une largeur en couronne de $5^m,50$ du côté du halage de 3 mètres du côté du contre-halage.

Elles étaient dressées à leur partie supérieure suivant la pente de 0,04 vers l'extérieur.

Le chemin de halage était d'ailleurs pourvu :

— d'un empierrement de 2 mètres de largeur;

— d'un bourrelet de garantie de $0^m,30$ de hauteur établi après coup sur la crète du talus intérieur de la cuvette, couvrant en partie l'empierrement et réduisant à peu près de tout sa largeur utile à $1^m,50$.

Mode et principes admis pour l'exécution des terrassements d'exhaussement. — Les terrassements nécessités par l'augmentation de $0^m,40$ du mouillage ont été entrepris sur les bases suivantes :

a. — Dans les longs biefs où les variations de niveau résultant des sassements ou de l'irrégularité de l'alimentation n'étaient pas à redouter, on a fixé le nouveau relief des digues au-dessus du plafond à $2^{m},50$.

b. — Dans les biefs très courts où le niveau est beaucoup plus variable, on a porté ce relief à $2^{m},70$.

On pourra ainsi, dans les uns comme dans les autres tendre le mouillage à $2^{m},20$, le cas échéant, pour éviter des dévasements trop répétés.

c. — Pour beaucoup de biefs, on a commencé par borner provisoirement à rétablir le relief normal de 2^{m}, sur les points où il était amoindri, soit par des tasseme[nts] soit par des erreurs d'exécution, soit enfin par l'usure ré[sul]tant de la fréquentation et l'on a tendu les eaux à leur te[nue] surélevée de 2 mètres, en se contentant de la revanche [de] $0^{m},30$ de manière à faire profiter plus rapidement l'industrie du bénéfice de l'exhaussement du mouillage.

Puis on a repris et on poursuivra le relèvement jusqu['à] ce qu'il soit complet.

d. — On utilise autant que possible les produits de cur[age] de la cuvette ou des contre-fossés, les scories de forges, [les] cendres de houille provenant des salines riveraines du [ca]nal, les débris des carrières voisines et, en un mot, [les] les matériaux que l'on peut se procurer économiquem[ent].

Le surplus est pris dans les emprunts ménagés de fa[çon] à réaliser du même coup d'autres améliorations telles [que] l'élargissement des tranchées à section étroite.

e. — Sauf dans certains cas particuliers où il faut, [par] exemple, conserver aux digues une grande puissance pour assurer l'étanchéité, on n'attaque le talus de déblai ou on recharge le talus de remblai que dans la mesure nécess[aire] pour maintenir une largeur en couronne de 4 mètres [au] minimum du côté du halage et $2^{m},50$ du côté du con[tre-]halage.

On raidit d'ailleurs un peu ces talus, le cas échéant, ce qui peut se faire sans inconvénient.

f. — Afin de ne pas détruire les plantes aquatiques percrues sur les banquettes à fleur d'eau, on a, au moins provisoirement, respecté le niveau de ces banquettes.

Rechargement des empierrements. — Quant aux empierrements, ils sont rechargés concurremment avec les terrassements et suivant les mêmes principes.

On y emploie surtout les débris de carrières et les cendres de houilles qui donnent d'excellentes chaussées à tous égards.

On profite de l'occasion pour rendre à ces chausséss leur ancienne largeur de 2 mètres, qu'elles ont perdue, comme nous l'avons expliqué précédemment, et qui est à peu près indispensable pour le passage de deux chevaux de front.

Prix de revient de l'exhaussement des digues. — Malgré l'utilisation de matériaux économiques, les terrassements ont été évalués dans les avant-projets à 2f,50 par mètre cube, savoir :

	fr.
— déblai, transport et remblai	1,50
— préparation du sol sous les remblais, règlements, pilonnages, semis, etc.	1,00
Total pareil	2,50

Les empierrements ont été estimés à 4 francs.

Ces chiffres élevés se justifient par l'extrême division des travaux, les déplacements incessants des chantiers, les pertes de temps qui en résultent et l'importance considérable des mains-d'œuvre accessoires.

Ils constituent d'ailleurs des maxima sur lesquels nous avons pu jusqu'ici réaliser de notables économies.

Tout compte fait, l'exhaussement des digues dans les conditions que nous avons indiquées peut être estimé à 4 francs environ par mètre courant de canal, y compris

une somme à valoir de près de $\frac{1}{6}$ pour dépenses imprévu frais de surveillance, etc.

§ 3. — Exhaussement des revêtements maçonnés.

Bajoyers des écluses. — Le relief normal des écluses s le plafond du bief d'amont était de $2^m,30$.

Celles qui terminent des biefs longs sont exhaussées $0^m,20$ de manière à être sur toute leur étendue au niv des digues d'amont.

Quant à celles qui terminent les biefs courts où les dig reçoivent un supplément de hauteur de $0^m,20$, on les hausse :

— de $0^m,40$ entre la tête amont et l'extrémité d'aval la première enclave, c'est-à-dire dans la zone où vien s'éteindre les flots produits par le vent, les sassements écluses supérieures et la circulation des bateaux;

— de $0^m,20$ seulement sur le surplus de leur longu

La tenue d'eau de 2 mètres est d'ailleurs réalisée d beaucoup de biefs avant ce relèvement.

La dépense est de 4.500 francs par écluse.

Bajoyers des ponts-canaux. — Les bajoyers des po canaux avaient, comme le montre la Pl. 9, *fig.* 2, une h teur de $2^m,10$ et ne s'élevaient par conséquent qu'à 0 au-dessus du niveau de la nouvelle retenue.

Ce relief a paru insuffisant pour mettre les banqu de halage à l'abri des afflux d'eau résultant des flots pr qués soit par les vents, soit par le passage des bateau était d'ailleurs trop faible pour permettre d'accroître peu le mouillage en cas de besoin.

Deux procédés ont été employés pour l'augmenter.

Le premier, représenté sur la moitié de droite d *fig.* 2, a consisté à surmonter les bajoyers d'un simple drier de chêne de 0^m20 de hauteur et de $0^m,08$ d'épaiss placé de champ et fixé au moyen de boulons à des p

de scellement. Ces pattes espacées de $1^{m},25$ ont été disposées du côté opposé à la cuvette afin de donner aux fourrures une résistance plus grande aux coups de gaffe; elles ont $0^{m},33$ de hauteur et sont scellées de $0^{m},20$ dans les couronnements, leur largeur est de $0^{m},06$ et leur épaisseur de $0^{m},015$; elles sont noyées dans la fourrure. Les madriers sont d'ailleurs assemblés entre eux à mi-bois par des boulons; leurs angles supérieurs sont abattus. La dépense a été en moyenne de $4^{f},50$ par mètre courant de bajoyers, savoir :

	fr.
— achat, façon, pose et goudronnage des bois.	3,00
— fourniture et mise en place des ferrements.	1,50
Total pareil.	4,50

Le second procédé, représenté sur la moitié de gauche de la *fig.* 2, a consisté à relever les bajoyers par l'addition d'une nouvelle pierre de couronnement et à les mettre ainsi en saillie de $0^{m},40$ sur la banquette de halage. La dépense est de 30 francs par mètre courant.

Ces procédés très différents ont permis tous deux de réaliser avec l'exhaussement une amélioration dont la nécessité était depuis longtemps démontrée : l'aménagement d'un garde-pieds protégeant les hommes et les chevaux de halage contre les accidents dont ils étaient fréquemment victimes.

Le premier a l'avantage de ne nécessiter qu'une faible dépense et de comporter une exécution facile et rapide, mais il n'offre pas de garantie de longue durée et d'étanchéité parfaite à la base du madrier; il est spécialement applicable au cas où les banquettes de halage sont étroites et où il convient de ne pas en réduire sensiblement la largeur.

Le second est plus coûteux, mais présente plus de sécurité au double point de vue de la solidité et de l'étanchéité; bien que son exécution donne lieu à des sujétions sérieuses,

nous le considérons comme plus satisfaisant lorsque l largeur des banquettes permet d'y avoir recours.

Murs de quai des ports. — Les murs de quai des port avaient tous un relief de $0^{m},70$ au minimum au-dessus d l'ancienne tenue réglementaire de $1^{m},60$ et par suite d $0^{m},30$ en contre-haut du nouveau plan d'eau. On les ex hausse de manière à les placer au niveau des digues, mai sans attendre l'achèvement du travail pour le relèvement d la retenue. L'opération se fait en démontant leur couron ment et le reposant sur une ou deux assises nouvelles moellons.

Murs de soutènement sous les ponts. — On relève même les murs de soutènement sous les ponts; il n' résulte aucun inconvénient au point de vue de la haute disponible pour le passage des chevaux sous la voûte et tablier des ponts qui sont exhaussés en même temps.

Muraillements de la cuvette. — Des muraillements de cuvette dans les tranchées ont dû également être exhauss de $0^{m},30$; cet exhaussement s'est fait par l'addition d'u simple assise de moellons ; le travail a coûté 2 francs mètre courant.

Perrés. — Les perrés aux abords des écluses qui ne levaient pas à $2^{m},30$ au-dessus du plafond sont relevés à niveau de manière à mettre les digues à l'abri des affou lements que les sassements y provoqueraient à la ligne flottaison.

§ 4. — Exhaussement des plates-formes des ponts tournan

Pont tournant de Toul. — Le canal présente à la t versée du département de Meurthe-et-Moselle des po tournants de deux types différents.

Le premier type, à tablier en bois, appliqué à Toul représenté par la Pl. 9, *fig.* 4, avait le sommet de sa pla forme de roulement à $1^{m},85$ seulement au-dessus

plafond, mais à 0m,70 en contre-bas des poutres du pont. Afin d'éviter le démontage de l'ouvrage, on s'est borné à entourer cette-plate forme d'un bourrelet en pierre de taille de 0m,25 de hauteur et 0m,50 de largeur, posé sur ciment, et à en assurer l'assainissement par un tuyau de drainage, évacuant les eaux de pluies et de filtrations dans un contre-fossé voisin. La dépense a été de 850 francs.

II. *Ponts tournants de Champigneules et de Nancy. — Mode de procéder.*— Le second type, à tablier métallique, adopté à Champigneules et Nancy, et représenté par la Pl. 9, *fig.* 5, avait sa plate-forme à 1m,90 au-dessus du plafond, mais à 0m,07 seulement en contre-bas des poutres du pont. Le procédé employé à Toul y était donc inapplicable ; il était d'ailleurs impossible de noyer le mécanisme sous peine de l'exposer à une destruction rapide.

Il a fallu se résoudre :

— à enlever le tablier ;

— à démonter la partie fixe du mécanisme de roulement ;

— à exhausser la plate-forme à 2m,50 ;

— à remonter le mécanisme ;

— et enfin à replacer le tablier.

Cette opération a été l'une des plus délicates que nous ayons eu à exécuter à raison du poids considérable du tablier (45 tonnes environ), et de la difficulté du descellement de la partie fixe du mécanisme.

Détails de l'opération. — L'enlèvement du tablier se faisait comme il suit. (Voir le dessin).

On le soulevait d'une seule pièce au moyen de dix crics très puissants ou de verrins de charpentier à longue course prenant leur point d'appui sur la plate-forme et sur la culée opposée ; au fur et à mesure de son relèvement, on interposait entre la partie inférieure des poutres et les maçonneries des cours de longrines et des traverses en bois ; on suivait d'ailleurs le mouvement avec des calages auxiliaires et avec des coins et contre-coins, de manière

à toujours maintenir le tablier en contact avec ses appuis et à l'empêcher de retomber et de se briser en cas d'accident aux appareils de levage. Lorsqu'il était arrivé à son niveau convenable, on intercalait entre les poutres maîtresses du pont et les longrines en bois situées au-dessous, soit d'autres longrines, soit de simples rouleaux reposant sur une bande de fer ; puis on l'amenait sur la berge du côté du contre-halage, c'est-à-dire du côté de la plate-forme, en le tirant à l'avant à l'aide d'un treuil solide et bien amarré, en le poussant à l'arrière avec des crics et en provoquant ainsi, soit le glissement des deux cours supérieurs de longrines l'un sur l'autre, soit simplement la rotation des rouleaux ; dans le premier cas on avait soin de savonner par avance les surfaces de glissement des longrines ; on soulevait d'ailleurs un peu l'avant pour faciliter le mouvement.

Ainsi conduit, l'enlèvement durait environ un jour et demi. Le pont restait en travers de la passe jusqu'à ce que son arrière eût dépassé l'aplomb du parement de la plate-forme du côté de la cuvette et interceptait par suite forcément la navigation. Nous avions tout d'abord cherché à nous soustraire à ce grave inconvénient en soulevant le pont dans la position correspondant à l'ouverture du pertuis, mais nous avions dû y renoncer à cause du porte-à-faux que présentait alors le tablier en dehors de la plate-forme et de l'impossibilité de prendre sur cette plate-forme un nombre suffisant de points d'appui pour effectuer le levage avec sécurité.

Une fois le tablier remisé en dehors de la cuvette, on démontait le mécanisme avec le plus grand soin, après avoir pris sur des parties fixes de l'ouvrage des points de repère parfaitement déterminés pour pouvoir remettre ultérieurement les pièces à leur emplacement avec une précision irréprochable.

On exhaussait ensuite la plate-forme par l'addition d'une

nouvelle assise de pierre de taille; on rétablissait le mécanisme; enfin on ramenait le tablier en place par une opération inverse de celle qui avait servi à son enlèvement.

Les abords du pont étaient d'ailleurs exhaussés simultanément, de telle sorte qu'aussitôt le tablier replacé, la voie était rendue à la circulation.

Maintien de la circulation pendant l'exécution des travaux. — La continuité du passage des voitures et des piétons était maintenue pendant l'exécution des travaux par un pont provisoire mobile dont nous avons donné le dessin dans une notice relative au relèvement du pont de la station de Frouard (*Annales des ponts et chaussées*, 1878, 1er semestre, Pl. 13). Nous nous bornerons donc à en rappeler très sommairement les dispositions.

Il se composait :

— de deux travées de rive fixes portées par des pilotis et laissant entre elles une passe de $6^m,80$ d'ouverture ;

— et d'un ponton flottant fermant la passe et susceptible d'être déplacé à l'approche des bateaux.

Le ponton, lesté de manière à se tenir un peu au-dessus des chevalets limitant le pertuis lorsqu'il n'était soumis qu'à son propre poids, portait sur ces chevalets, dès qu'il recevait une surcharge. Cet artifice permettait, tout en lui conservant une légèreté et une mobilité suffisantes, de lui donner en même temps la force nécessaire pour supporter les plus lourdes voitures.

La passe était d'ailleurs évasée en forme de coin pour faciliter le déplacement du ponton.

La manœuvre d'ouverture et de fermeture et le passage d'un bateau n'exigeaient que 5 minutes.

Durée et prix de revient de l'opération. — Le travail a duré en totalité un mois par ouvrage et a coûté 5.600 fr. environ, savoir :

	fr.
— enlèvement et remise en place du tablier.	600
— démontage du mécanisme, relèvement de la plate-forme, remontage du mécanisme, exhaussement des abords.	4.400
— mise en place, manœuvre et dépose du pont de service.	600
Total pareil.	5.600

Dans cette estimation ne sont pas compris les frais de construction du pont mobile provisoire qui a servi sur un grand nombre de points, non seulement pour le relèvem des ponts tournants, mais encore et surtout pour celui d ponts fixes; ces frais se sont élevés à 2.000 francs.

§ 5. — Exhaussement des portes d'écluses.

Premier relèvement provisoire. — Les portes d'écluses ne s'élevaient qu'à 0m,20 en contre-haut du niveau réglementaire du bief d'amont réglé à 1m,60 de mouillage.

Lorsque les digues ont été exhaussées à 2m,50 dans les biefs courts et réglées partout à 2m,30 au minimum dans les longs biefs, on a immédiatement exhaussé les portes d manière à les déraser :

— *dans les premiers biefs*, à 0m,10 au-dessus de la nou velle tenue d'eau afin de pouvoir y tendre normalement l mouillage à 2m,10 et de s'assurer ainsi un minimum d 2 mètres, en cas d'abaissement par les éclusages et l'ir régularité de l'alimentation, sans toutefois réduire out mesure la revanche des digues;

— *dans les biefs étendus*, exactement à 2 mètres au-dessus du plafond du bief d'amont pour transformer les entretoises supérieures en déversoirs régulateurs.

L'opération a consisté exclusivement dans la pose, sur le sommet des vantaux, de hausses en madriers de chêne de 0m,06 d'épaisseur buttant d'une part contre le poteau tourillon et d'autre part contre le poteau busqué et fixés

sur leur face aval par deux pattes en fer ainsi que par des tasseaux triangulaires en bois épousant la forme des consoles de support des garde-corps.

Relèvement définitif. — Au fur et à mesure que le relèvement des digues sera complété dans les limites indiquées à la page 6, on donnera aux portes un relief de $0^m,30$, dans les biefs courts et de $0^m,20$ dans les biefs longs, sur le plan d'eau à 2 mètres du bief d'amont, pour pouvoir le cas échéant augmenter la profondeur d'eau et diminuer, comme nous l'avons expliqué précédemment, les sujétions de l'entretien de la cuvette. On profitera d'ailleurs à cet effet du remplacement successif des portes.

§ 6. — Exhaussement des déversoirs.

Les banquettes des déversoirs étaient en général arasées exactement au niveau de l'ancienne retenue réglementaire.

On les relève de $0^m,50$, et on les place ainsi à $2^m,10$ au-dessus du plafond.

L'opération consiste dans l'addition de deux assises sur les rampants et dans le prolongement des coulisses à poutrelles.

§ 7. — Étanchements.

I. *Exhaussement des étanchements en béton* — Le canal de la Marne au Rhin est, sur une partie de sa longueur, étanché soit dans les sections en remblai, qui ont dû être faites en matériaux de mauvaise qualité, soit dans les déblais perméables, par des revêtements en corrois et surtout par des chapes en béton.

Les revêtements corroyés ont pu généralement rester tels quels; mais il n'en a pas été de même des chapes bétonnées.

a. *Exhaussement en béton. Mode de procéder.* — Ces chapes ont fait l'objet d'un remarquable mémoire de

M. Malézieux, inséré dans les *Annales des ponts et chaussées*, année 1856, 1er semestre, pages 133 et suivantes.

Le profil en est donné par la *fig.* 3, Pl. 9; elles s'éle- vaient à 1^{m},80 en contre-haut du plafond.

On les a exhaussées sur une grande partie de leur lon- gueur comme le montrent les indications de la moitié de droite du profil, de manière à porter leur relief à 2^{m},...

L'opération s'est faite ainsi qu'il suit :

On commençait par effectuer la fouille nécessaire, en la réduisant au strict indispensable, en ayant d'ailleurs soin de déposer autant que possible les terres en dehors de la zone affectée au halage et en mettant de côté les pierres de grosses dimensions qu'elles contenaient pour les utiliser ultérieurement au rechargement de l'empierrement. On découvrait ainsi le béton jusqu'à 0^{m},10 en contre-bas de son sommet.

Ensuite on nettoyait, on grattait et on avivait minutieuse- ment le couronnement du revêtement, en y pratiquant de petites cavités de 0^{m},03 de profondeur, disposées en échiquier et espacées de 0^{m},08 en moyenne d'axe en axe; on en piquait également la face antérieure sur 0^{m},... à 0^{m},03 de hauteur.

Après avoir achevé ce travail préparatoire dont le but était d'assurer une liaison parfaite entre la nouvelle et l'ancienne maçonnerie, on recouvrait le biseau d'une couche de mortier de 0^{m},02 d'épaisseur, puis on y appli- quait le béton en exhaussement, en ménageant à sa base un bourrelet destiné à disparaître par le battage.

Le béton ainsi coulé était d'abord pilonné :

— de haut en bas, au moyen d'une dame ronde;

— normalement au talus, à l'aide d'une dame plate.

Immédiatement après, on le battait avec une savate légère pesant 4 kilogrammes et formée de deux cuirs garnis de gros clous de souliers. Quand il avait acquis un peu de consistance, c'est-à-dire quelques heures après son

emploi, on reprenait le battage en se servant d'une savate lourde de 10 kilogrammes formée de quatre cuirs superposés et armés de grosses têtes de clous et on continuait l'opération jusqu'à ce qu'on n'aperçût plus à sa surface la moindre pierre saillante et jusqu'à ce que le béton fût recouvert d'une couche de mortier refluant sous l'action du savatage. Quelques heures après, lorsque des gerçures se manifestaient par le fait de la dessiccation, on reprenait le battage et on le répétait autant de fois qu'il était nécessaire. Puis on visitait attentivement le revêtement, et on fermait au besoin à la truelle les derniers vides; la chape se trouvait ainsi recouverte d'un enduit en mortier bien serré, bien lissé et faisant absolument corps avec la partie postérieure du béton (*).

Enfin on remblayait la fouille en pilonnant et arrosant les terres et en choisissant les plus fines pour les mettre en contact immédiat avec le revêtement.

Le béton était très gras et se composait de trois parties de mortier de chaux hydraulique pour quatre de gravier passé à l'anneau de $0^{m},04$ sans addition de ciment.

La chaux provenait de Xeuilley, près Pont-Saint-Vincent (bancs du lias); le gravier et le sable, de la Moselle.

Le mortier et le béton étaient préparés sur le chemin de contre-halage et menés à pied-d'œuvre soit en brouette, soit en bateau.

Prix de revient. — En section courante, le prix de revient a été de $2^{f},50$ environ par mètre courant, savoir :

(*) Toutes ces mains-d'œuvre sont calquées sur celles que M. Malézieux a décrites dans son mémoire.

	f.
a — Fouille et remblai.	0,70
b — Préparation de la chape ancienne.	0,11
c — Fourniture et pose du béton.	1,15
d — Régalage, pilonnage, savatage et lissage.	0,25
Total.	2,21
A ajouter pour frais de matériel et de surveillance.	0,33
Total général.	2,54
Soit comme ci-dessus.	2,5

b. — *Exhaussement en corroi.* — Sur certains points, on a procédé plus simplement et on s'est borné à envelopper la tête de la chape ancienne dans un petit massif de terre argilo-sablonneuse parfaitement corroyée, comme l'indique la moitié de gauche du profil, Pl. 9, *fig.* 3.

Ce massif est fait par couches successives de 0m,10 arrosées et pilonnées jusqu'à réduction de $\frac{1}{3}$ au moins de leur épaisseur.

La terre employée contient environ deux parties d'argile pour trois de sable.

Cette solution permet de réduire la dépense à 1f,75 par mètre courant, eu égard à la faible hauteur du corroi et à la pression minime à laquelle il est soumis ; elle convient parfaitement dans les terrains qui ne sont pas trop caverneux.

II. — ***Étanchements complémentaires.*** — Indépendamment de l'exhaussement des chapes en béton recouvrant les parties les plus perméables de la cuvette, on est conduit sur beaucoup de points à exécuter des travaux complémentaires d'étanchement.

Il suffit pour le comprendre de remarquer :

— que la surface mouillée des talus est sensiblement augmentée ;

— que la pression sur ces talus et le plafond est également accrue dans une forte proportion ;

— que, pour cette double raison, les suintements et les filtrations deviennent plus considérables ;

— enfin que la tranche des digues en remblai correspondant au relèvement du plan d'eau est précisément celle qui a été pilonnée avec le moins de soin et faite avec les matériaux les plus mauvais, et en même temps celle qui présente le plus de trous de rats et de taupes.

Sans s'exagérer ces causes de déperdition, on ne saurait en méconnaître l'effet.

Les moyens d'y remédier varient avec la nature du terrain auxquels ils s'appliquent — avec l'importance des pertes, — avec leur allure, — avec la hauteur à laquelle elles se manifestent.

Il n'entre pas dans le cadre de cette note de les décrire.

Nous nous bornons à faire connaître :

— qu'ils sont en général conformes aux indications données par M. l'inspecteur général Graëff, dans son bel ouvrage sur le canal de la Marne au Rhin et le chemin de fer de Paris à Strasbourg ;

— que, dans la plupart des cas, ils consistent simplement en des corrois longitudinaux établis dans le corps des digues et coupant court aux filtrations qui se font jour à la ligne de flottaison.

§ 8. — Mode d'exécution des travaux d'exhaussement de la cuvette.

Exécution partielle en régie. — Par leur nature, leur extrême division, leur échelonnement sur un grand nombre d'années, leur grande variété, leur solidarité intime avec l'entretien, les travaux d'exhaussement de la cuvette offrent des sujétions considérables que redoutent les entrepreneurs sérieux et qui sont de nature à rendre les adjudications difficiles et onéreuses pour le Trésor.

Aussi l'administration supérieure a-t-elle, pour la partie

du canal de la Marne au Rhin empruntée par le canal d l'Est, admis qu'ils seraient entièrement exécutés en régi

Elle est toutefois revenue récemment sur cette détermi nation pour d'autres sections du canal et a limité la rég aux ouvrages tels que les étanchements qui exigent un so particulier.

Les ingénieurs se sont d'ailleurs appliqués, dans les cas d'exécution en régie, à passer pour toutes les fourniture et les mains-d'œuvre qui en sont susceptibles, des march à la tâche régulièrement soumis à l'approbation p fectorale.

C'est ainsi qu'en ce qui concerne les bétonnages, p exemple, il a été conclu des marchés :

1° pour la fourniture du sable et du gravier ;

2° pour celle de la chaux ;

3° pour la préparation et la pose du béton ;

4° pour les déblais et remblais.

On n'a réservé, pour les faire effectuer à la journée pa des ouvriers de confiance, que le battage et le pilonnage qui exigeaient un soin tout à fait particulier.

§ 9. — Dépense totale afférente à l'exhaussement de la cuvet

Dépense kilométrique. — Nous avons, pour les princip ouvrages, donné leur prix de revient à l'unité ou au mè courant.

Il ne nous reste qu'à indiquer la dépense totale l'exhaussement de la cuvette par kilomètre.

Cette dépense peut être estimée à 8.500 francs en nom rond, y compris les frais généraux.

§ 10. — Ordre d'exécution.

Ordre d'exécution. — L'ordre d'exécution est le suivant

On commence généralement par rétablir le relief norm

de $2^m,30$ que doivent présenter les digues dans les biefs longs et par le porter à $2^m,50$ dans les biefs courts; on exhausse en même temps les revêtements maçonnés ayant moins de $2^m,20$ à $2^m,30$ de hauteur, ainsi que les plates-formes des ponts tournants et les chapes d'étanchement en béton.

Puis on relève les portes d'écluses à 2 mètres ou $2^m,10$ suivant la longueur des biefs; on exhausse les déversoirs.

Cela fait, si les ponts le permettent, on tend immédiatement les eaux à 2 mètres.

Ce n'est qu'après qu'on achève progressivement les travaux et qu'on procède notamment aux étanchements complémentaires.

Exécution sans interruption de la navigation. — Tous ces travaux se font, nous le répétons, sans chômage spécial et pour ainsi dire sans interruption et même sans gêne pour la navigation.

CHAPITRE II.

AMÉLIORATIONS RÉALISÉES A L'OCCASION DE L'EXHAUSSEMENT DE LA CUVETTE.

Améliorations diverses. Choix de l'exemple le plus intéressant. — Ainsi que nous l'avons exposé dans le cours du chapitre I, un certain nombre d'améliorations accessoires ont été réalisées à l'occasion de l'exhaussement de la cuvette.

Parmi ces améliorations, nous croyons utile d'en faire connaître une, celle du passage du souterrain de Foug, parce qu'elle est la plus importante et en même temps parce qu'elle nous permettra de fournir un exemple intéressant des considérations par lesquelles on peut se rendre compte des conditions d'exploitation d'une section de canal à voie unique et des moyens de perfectionner cette exploitation.

§ 1er. — Situation du passage du col de Foug et nécessité de l'améliorer.

Longueur du passage à voie unique. — Le souterrain de Foug, ouvert pour le passage du canal de la Marne au Rhin sous le faîte séparatif de la Meuse et de la Moselle, a 860 mètres de longueur; il est précédé, du côté de la Marne, d'une tranchée muraillée à voie unique, dite de Lay-Saint-Remy, dont le développement était de 720 mètres (voir Pl. 9, *fig.* 6).

Le souterrain et la tranchée constituaient ainsi un passage rétréci de près de 1.600 mètres, à la traversée duquel les bateaux ne pouvaient se croiser et où la navigation se faisait périodiquement par trains de la Marne vers le Rhin et du Rhin vers la Marne.

Gares d'évitement aux extrémités. — A l'amont, le port de Lay-Saint-Remy et la cuvette du canal elle-même formaient une gare d'évitement pour ainsi dire indéfinie: mais à l'aval, au contraire, il n'existait entre la tête du souterrain et l'écluse n° 13 du versant de la Moselle qu'un garage de quatre bateaux (Pl. 9, *fig.* 8).

Nécessité d'accroître la capacité de transport sur ce point. — L'exiguïté de cette gare et le délai considérable nécessaire au passage des rames réduisaient dans une proportion notable la capacité de transport du canal.

Depuis un certain temps déjà, le développement croissant du trafic rendait nécessaire l'amélioration de cette situation. On a pu la réaliser simultanément avec l'exhaussement de la cuvette dans la section empruntée par le canal de l'Est entre Void et Jarville : voici sur quelles bases et d'après quels principes.

§ 2. — Capacité ancienne de transport et moyens de l'améliorer.

Expression algébrique de la capacité de transport. — Désignons par :

G — le nombre de bateaux que peut recevoir la gare d'évitement de Foug;

t — le temps exprimé en heures, nécessaire à une rame pour franchir la section à voie unique;

T — la durée de la période de passage dans chaque sens, également exprimé en heures;

n — le nombre de bateaux passant dans chaque période;

N — le nombre de bateaux pouvant passer en 24 heures.

L'exploitation se fait comme il suit, en partant, par exemple, de l'origine d'une période de passage de la Marne vers le Rhin.

Les n bateaux descendants quittent Lay-Saint-Remy à l'instant o et atteignent Foug à l'instant t.

Avant leur arrivée on aura pu, sans empêcher l'évitement, introduire en amont de l'écluse n° 13 un nombre de bateaux montants égal à $G + 2 - n$, savoir :

— $G - n$ — dans la gare,

— 1 — dans le sas de l'écluse;

— 1 — immédiatement en amont du sas.

De l'instant t à l'instant T ou au commencement de la période suivante du passage du Rhin vers la Marne, on pourra encore en introduire $2(T - t)$ en échange d'un nombre égal de bateaux descendants qu'on fera passer à l'aval de l'écluse 13, attendu que le temps indispensable à l'éclusage double d'un bateau montant et d'un bateau descendant est d'une demi-heure environ.

Il y aura donc à l'instant T dans la gare d'évitement une rame composée de $G + 2 - n + 2(T - t)$ bateaux montants qui partiront pour Lay-Saint-Remy.

On pourra en outre, de l'instant T à l'instant $2T - t$, en faire encore passer en amont de l'écluse 13 et partir pour la Marne $2(T - t)$, de sorte qu'en somme le nombre des bateaux qui pourront franchir le passage rétréci en s'éloignant du Rhin, de l'instant T à l'instant 2T, sera de :

$$G + 2 - n + 4(T - t).$$

En supposant la navigation également active dans l
deux sens, on a

$$n = G + 2 - n + 4(T - t)$$

ou

$$n = \frac{G}{2} + 2(T - t) + 1.$$

Quant au nombre total de bateaux susceptibles de pass
en 24 heures, il est donné par la relation

$$N = n\,\frac{24}{T} = 48 + 24\,\frac{\frac{G}{2} + 1 - 2t}{T}.$$

Il est à peine nécessaire de faire observer que, pour é
blir les formules (1) et (2) nous avons admis que n é
inférieur à G + 2 ; cette relation est forcément satisfait

Application des formules à l'ancienne situation. — P
appliquer les formules précédentes à la situation ancie
du canal, il faut y faire :

$$G = 4, \quad t = 2, \quad T = 3.$$

on trouve alors

$$n = 5, \quad N = 40.$$

Le maximum de capacité de transport du souterrain
de la tranchée était de 6.000 tonnes par jour, en attrib
aux bateaux un chargement moyen de 150 tonnes.

Quant à la capacité moyenne, elle pouvait être éval
— par jour, aux $\frac{2}{3}$ de la capacité maximum, so
4.000 tonnes;
— par année, à 1.200.000 tonnes, en supposant
navigation de 300 jours seulement.

Ce chiffre ne représentait que les $\frac{2}{5}$ environ de la ca
cité en section courante qui, calculée sur les mêmes b
pour le chargement moyen des bateaux, la durée des
sements et le nombre de jours de navigation, devait ê
estimée à 2.880.000 tonnes.

Il y a lieu d'ailleurs de remarquer qu'en pratique il é
encore réduit dans une proportion très notable, parce q

l'exploitation ne pouvait se faire avec la précision et la régularité que lui supposait la théorie.

Influence des diverses variables des formules. — A l'inspection de la formule (2), on voit qu'il y avait utilité :

1° à augmenter la contenance G de la gare d'évitement de Foug ;

2° à réduire la durée t du parcours du passage rétréci, soit par une diminution de la longueur de ce passage, soit par une accélération de la vitesse de progression des bateaux ;

3° à réduire ou à augmenter la durée de la période T suivant que G était supérieur ou inférieur à $4t - 2$ (sa valeur ne pouvant d'ailleurs évidemment être inférieure à t).

Amélioration par un accroissement exclusif de la gare d'évitement de Foug. — En conservant à t et T leurs valeurs anciennes et en se bornant à accroître la superficie de la gare de Foug, on augmentait les valeurs de n et de N comme l'indique le tableau ci-dessous :

VALEURS DE		
G (1)	n (2)	N (3)
6	6	48
8	7	56
10	8	64
12	9	72
14	10	80
16	11	88
18	12	96

Le dernier chiffre de la colonne (1) constituait un maximum théorique, puisqu'alors on devait écluser d'une manière continue et que le souterrain ne réduisait plus la capacité de transport du canal.

On l'aurait du reste trouvé directement, en remarquant qu'alors les rames se seraient composées de 4T bateaux et que la relation (1) aurait par suite donné :

$$\frac{G}{2} + 2(T - t) + 1 = 4T$$

ou

$$G = 4T + 4t - 2 = 18.$$

Amélioration par une réduction exclusive de la période t. — En conservant à G et T leurs valeurs et en ne faisant varier que *t* pour le réduire à 1 heure et demie, les formules (1) et (2) montrent :

— que la capacité de transport du passage de Foug était portée à 48 bateaux par jour, c'est-à-dire à la moitié de celle du canal en section courante ;

— que du reste elle demeurait constante, quelle que fût la durée de la période T, pourvu que cette dernière ne dépassât pas 3, limite à partir de laquelle *n* devenait supérieur à G + 2.

Amélioration par une augmentation exclusive de la période T. — En supposant que G et *t* ne changeassent pas et que la relation $G + 2 > n$ restât satisfaite, on pouvait accroître un peu la capacité de transport en fixant T à 3,5 et la porter ainsi à 41 bateaux.

Mais cette modification sans résultat sérieux ne pouvait être adoptée; car elle devait avoir pour conséquence de faire varier chaque jour les limites des périodes de circulation dans chaque sens, ce qui était inadmissible en pratique.

Augmentation par un développement de la gare d'évitement et une réduction de t *et* T. — Enfin, en réduisant *t* à 1 heure et demie, limite inférieure difficile à dépasser — en augmentant G — et en fixant en même temps T à son minimum de 1 heure et demie (ce qui était important puisque la relation $G + 4t - 2 > n$ était alors satisfaite), la capacité de transport était la suivante pour diverses valeurs de G :

VALEURS DE		
G	*n*	N
6	4	64
8	5	80
10	6	96

Ainsi, en augmentant de 6 bateaux la contenance de la gare de Foug, on rendait la capacité théorique de transport du souterrain équivalente à celle du corps du canal, et en l'augmentant seulement de 4 bateaux, on la portait aux $\frac{5}{6}$ de la capacité courante.

Combinaison définitivement admise. — C'est à cette dernière combinaison que l'on s'est arrêté, attendu qu'elle était de nature à pourvoir pour de longues années aux nécessités du trafic et que d'ailleurs sur d'autres points, notamment à Mauvages, la capacité du canal devait inévitablement rester moindre, malgré la prochaine installation d'un touage à vapeur.

Elle consiste en définitive :

— à réduire à 1 heure et demie la durée de la traversée du souterrain de Foug et de la tranchée de Lay-Saint-Remy ;

— et à augmenter de 4 bateaux la contenance de la gare d'évitement.

§ 3. — Réduction de la durée de la traversée.

Double opération exécutée pour obtenir cette réduction. — La réduction à 1 heure et demie de la traversée du souterrain et de ses abords est obtenue :

1° par l'élargissement de la tranchée de Lay-Saint-Remy sur une partie de sa longueur à partir de son origine vers la Marne ;

2° par l'organisation de courants alternatifs d'alimentation activant la progression des bateaux dans les deux directions.

I — *Élargissement de la tranchée de Lay-Saint-Remy. Dispositions adoptées pour cet élargissement.* — L'élargissement est exécuté sur une longueur de 525 mètres, de telle sorte que la section à voie unique est ainsi ramenée à 1.130 mètres.

Le profil en travers de la tranchée comportait (Voir pl. 9, *fig.* 7) :

— une largeur au plafond de 6 mètres;

— deux murs de cuvette de $2^m,40$ de hauteur, avec fruit du $\frac{1}{4}$ environ ;

— deux talus de déblai allant jusqu'au terrain naturel;

— deux banquettes à ce niveau;

— enfin deux cavaliers de dépôt formés par les anciens déblais du canal.

L'élargissement s'est effectué sur la gauche, du côté du contre-halage.

La largeur au plafond est portée à 12 mètres, chiffre un peu supérieur à la largeur normale, mais nécessaire eu égard à la courbure du tracé.

Le mur de cuvette n'a pas été rétabli; sa réfection eût donné lieu à un surcroît de dépenses que n'aurait pas compensé la réduction du cube des déblais; la tranchée a donc été talutée de ce côté suivant l'inclinaison ordinaire de 3 de base pour 2 de hauteur avec une banquette de $0^m,50$ au niveau du plan d'eau tendu pour un mouillage de 2 mètres. Toutefois, afin de diminuer l'importance des déblais, on a remonté notablement la banquette de contre-halage pour la placer à 5 mètres en contre-haut du plafond, soit à 3 mètres en contre-haut du plan d'eau ou encore à mi-hauteur à peu près, entre le sommet et la base de la tranchée; on en a en outre réduit la largeur à 2 mètres, chiffre parfaitement suffisant pour la circulation des bréleurs et pour les besoins de l'entretien du canal.

On a d'ailleurs supprimé cette banquette sous un pont situé dans la partie élargie afin d'augmenter le débouché de cet ouvrage et d'y diminuer la vitesse des courants d'alimentation qui auront toujours une direction contraire sur ce point à celle de la navigation, puisque les bateaux qui y passent iront à l'opposé des rames du souterrain. Mais c'est là un détail sur lequel nous n'avons pas à insister.

Nous donnons dans la note 1, à la fin du présent mémoire, des renseignements détaillés sur le mode d'exécution des travaux.

Dépense. — Le cube des déblais a été de 25.500 mètres cubes; ils ont coûté en nombre rond 2f,20 par mètre cube pour fouille, charge, transport et décharge; la dépense totale a été de 70.000 francs, environ.

II — *Organisation de courants alternatifs d'alimentation.* — Jusqu'ici la partie du versant de la Moselle située en amont de Toul était exclusivement alimentée par des eaux prises aux sources de Vacon, c'est-à-dire à l'extrémité, côté de Marne, du grand bief de Void, de telle sorte qu'il existait un courant de la Marne vers le Rhin.

Mais l'exhaussement du mouillage et l'adjonction au bief de Void de la branche « de la Meuse » du canal de l'Est ont rendu ces ressources insuffisantes et l'on a construit sur la Moselle près de Toul des usines ayant pour objet d'envoyer à l'entrée du souterrain de Foug, côté du Rhin, des eaux puisées dans cette rivière et destinées à concourir avec celles de Vacon à la réparation des pertes par les filtrations et les éclusées.

On pourra profiter de ce dédoublement des ressources et de leur situation des deux côtés du souterrain pour alimenter exclusivement la descente de l'Ingressin et la section de Lay-Saint-Remy à Foug :

1° pendant les périodes de passage de la Marne vers le Rhin, par les eaux de Vacon;

2° pendant la période de passage du Rhin vers la Marne, par les eaux de la Moselle emmagasinées à cet effet dans des bassins de réserve qui ont été ménagés sur la rigole collectrice du produit des usines.

On développera ainsi, comme nous l'avions annoncé, des courants alternatifs constamment dirigés dans le sens de la marche des rames et contribuant puissamment à en augmenter la vitesse de translation; la vitesse des courants

sera en moyenne et en nombre rond de 300 mètres à l'heure au droit des bateaux.

§ 4. — Agrandissement de la gare d'évitement de Foug.

Dispositions et mode d'exécution. — Ainsi qu'il a été dit précédemment, la contenance de la gare d'évitement de Foug a été augmentée de 4 bateaux.

Cet élargissement a été opéré du côté droit (pl. 9, *fig.* 8); il a pu être effectué économiquement à l'occasion de la construction de la rigole des eaux de la Moselle, en fournissant des déblais qui étaient nécessaires pour les levées en remblais de cette rigole à la traversée d'un vallon peu éloigné.

Il a eu pour conséquence la démolition du mur de quai et sa reconstruction à 11 mètres en arrière — le prolongement du mur en retour d'amont et de droite de l'écluse 13 — enfin le déplacement d'une partie de l'un des deux murs en aile du souterrain et d'un déversoir de fond.

La part de dépense afférente au canal de la Marne au Rhin a été de 11.000 francs.

On a exécuté en bonne saison les déblais et la construction du mur de quai, en réservant en avant comme bâtardeau l'ancien mur que l'on a démoli pendant un chômage d'hiver.

Observation sur la construction de murs de quai le long du canal. — C'est d'ailleurs le mode de procéder adopté pour la construction de tous les murs de quai du canal; on établit ces murs à sec ou au prix d'épuisements minimes pendant l'été, en ménageant en avant une épaisseur de digue suffisante que l'on drague ou que l'on déblaie ultérieurement à sec durant un chômage (pl. 9, *fig.* 9).

DEUXIÈME PARTIE.

RELÈVEMENT DES PASSAGES SUPÉRIEURS.

CHAPITRE III.

RELÈVEMENT DES PASSAGES SUPÉRIEURS POUR VO^ DE TERRE.

§ 1er. — Nécessité et limites du relèvement.

Nécessité du relèvement. — La hauteur disponible entre le plan d'eau réglementaire ancien et l'intrados des ponts était en général de $3^m,60$, mais descendait cependant à $3^m,40$ pour quelques ouvrages. Comme elle était à peine suffisante pour le passage des bateaux vides ou chargés de matières encombrantes, il était impossible de la réduire purement et simplement par l'exhaussement du plan d'eau et il était de toute nécessité de relever la plupart des passages supérieurs.

Hauteur réglementaire nouvelle à ménager sous les ponts. — Après un examen minutieux de la question, les ingénieurs ont proposé de fixer à $3^m,70$ la limite inférieure de la hauteur à ménager désormais entre le plan d'eau tendu à 2 mètres et la douelle des ponts, ou encore à $5^m,70$ la hauteur du gabarit à inscrire entre le plafond et cette douelle sur la largeur de $5^m,20$ correspondant à une voie de bateau.

Cette proposition a été admise par décision ministérielle du 15 juin 1874 et a servi de base aux projets présentés et aux travaux exécutés pour le relèvement des passages par-dessus le canal (*).

(*) La hauteur de $3^m,70$ a été fixée depuis, par la loi du

Nous allons faire connaître aussi sommairement que possible les dispositions adoptées pour cette opération.

Nous traiterons dans deux chapitres distincts :

1° des ponts desservant des voies de terre;

2° des ponts livrant passage à des voies ferrées.

Pour ceux de la première catégorie nous examinerons les ouvrages types et les ouvrages spéciaux les plus caractéristiques.

§ 2. — Ponts sur écluses à une voie de voiture (type).

Nombre et situation de ces ponts. — Le canal de la Marne au Rhin comporte dans le département de Meurthe-et-Moselle 17 ponts sur écluses à une seule voie de voiture, savoir :

sous des chemins de grande communication. . .	3
sous un chemin d'intérêt commun.	1
sous des chemins vicinaux ordinaires.	4
sous des chemins d'exploitation ou ruraux (*). .	9
Total pareil.	17

Quelques-uns de ces ponts étaient formés de voûtes en maçonnerie; mais la plupart présentaient des tabliers en bois.

Les voûtes devaient être démolies.

Quant aux tabliers en charpente, malgré les soins apportés à leur entretien, ils étaient dans un état de vétusté qui eût exigé leur réfection intégrale à l'occasion de l'exhaussement du mouillage. Ils présentaient d'ailleurs le double inconvénient :

5 août 1879 relative au classement et à l'amélioration des voies navigables, pour tous les canaux constituant des lignes principales de navigation.

(*) Nous ne faisons pas mention dans cette nomenclature d'un pont servant en même temps à un embranchement du chemin de fer de Paris à Strasbourg et exhaussé par la compagnie de l'Est.

1° de donner lieu à un entretien très onéreux et en même temps très gênant pour la circulation sur les voies de communication qu'ils desservaient;

2° de ne plus offrir, même en les supposant complètement restaurés, des garanties suffisantes de sécurité pour le passage des lourds véhicules dont le développement de l'industrie et du commerce aux abords du canal a provoqué l'emploi depuis quelques années.

Remplacement des voûtes et des tabliers en bois par des tabliers métalliques. — On a en conséquence profité de la circonstance pour remplacer les tabliers en charpente par des tabliers métalliques.

On a pris la même mesure pour les voûtes en maçonnerie :

1° afin d'unifier le type des ouvrages;

2° afin d'éviter le remaniement des rampes d'accès dont la dépense entrait pour une très forte part dans le prix de revient de l'exhaussement des ponts;

3° afin de rendre plus facile un second relèvement ultérieur dans le cas où cette éventualité viendrait à se réaliser.

Dispositions de ces tabliers. — Ces nouveaux tabliers, analogues à ceux du canal des houillères de la Sarre (voir Pl. 10, *fig.* 1 à 4), ont une largeur de 4 mètres entre garde-corps, savoir :

	mèt.
— voie charretière	2,30
— deux trottoirs de $0^m,85$.	1,70
Total pareil.	4,00

Leur carcasse métallique se compose :

— de deux poutres maîtresses en fer à I du commerce de $0^m,40$ de hauteur, distantes d'axe en axe de $2^m,80$ et renforcées par des tables dont la longueur varie avec les surcharges;

— de deux longrines de rive en fer à I de 0m,18 de hauteur placées au droit des garde-corps;

— enfin d'entretoises ayant généralement 0m,26 de hauteur et distantes de 1m,06 d'axe en axe qui relient les poutres maîtresses et dont l'équarrissage diffère suivant les cas.

Les poutres maîtresses sont légèrement cintrées, de manière à corriger l'effet des tablettes de renfort qui les feraient paraître déprimées en leur milieu; elles portent sur les culées, de même que les longrines de rive, par l'intermédiaire de coussinets en fonte et de lames de plomb.

Sur cette carcasse reposent :

1° entre les poutres maîtresses, des voûtes en briques de 0m,11 d'épaisseur surbaissées au $\frac{1}{10}$, faites avec du mortier de ciment de Portland (*, **) et portant une chaussée d'empierrement avec bordures en quartzite de Sierck;

2° sur les poutres et les longrines de rive, des dalles de 1m,05 de largeur et 0m,16 d'épaisseur en pierre d'Euville ou de Lérouville formant trottoirs.

Les voûtins sont pourvus :

— à l'intrados, d'un enduit en ciment de Portland de 0m,015 dont le double objet est d'accroître leur résistance et surtout de protéger les briques contre la désagrégation produite par l'humidité (***);

(*) Ces voûtes sont établies sur de petits cintres en bois qui ont une largeur un peu inférieure à celle du cadre à maçonner et que l'on relie par des boulons verticaux à des traverses en bois reposant sur la table supérieure des fers à I. Le décintrement s'opère simplement en enlevant les boulons.

(**) Nous avons fait des expériences comparatives sur les voûtes en briques et sur des voûtes en arc de cloître faites avec du béton de ciment et du gravier fin et reposant sur les quatre côtés des mailles du cadre qu'elles ont à remplir; ces expériences nous ont donné des résultats absolument semblables pour la résistance à la rupture; des deux systèmes de voûtes, le second pourrait donc dans certains cas être avantageusement employé eu égard à sa rapidité d'exécution.

(***) La chape est faite sur les cintres en même temps que la

— à l'extrados, d'une chape de $0^m,025$ passant par-dessus les entretoises et réglée de manière à assurer l'écoulement des eaux pluviales filtrant au travers de la chaussée.

On réemploie, après les avoir convenablement remaniés à leur base, les garde-corps en fer dont étaient munis un certain nombre des anciens ponts.

Pour les autres ouvrages, on établit des garde-corps neufs en fonte.

Maintien de la circulation sur les voies desservies par les ponts. — Les travaux de démolition et de réfection se font sans interruption de la voie à laquelle les ponts livrent passage; on reporte à cet effet la circulation sur un ponton flottant disposé à la tête amont de l'écluse entre les deux bajoyers et en avant de la chambre des portes (Pl. 10, *fig.* 9 à 11).

Ce ponton a un petit excès de flottaison qui permet de le retirer facilement pour le remiser contre les murs en retour voisins à l'approche des bateaux; les longrines de son platelage supérieur portent d'ailleurs sur les bajoyers sous l'action des voitures dont le poids peut, par cet artifice, dépasser de beaucoup la capacité de déplacement du flotteur et qui ne produisent qu'un abaissement insensible du ponton.

Cet ouvrage provisoire coûte 1.000 francs de premier établissement; son installation n'exige que deux très petites rampes d'accès; il est manœuvré par l'éclusier.

Les maçonneries en exhaussement sont d'ailleurs faites avec du mortier de ciment au droit du tablier, afin de réduire au strict minimum la durée des travaux.

Surcharges d'épreuve. — Les calculs de résistance des fers ont été faits sur les bases suivantes.

---

voûte avec laquelle elle fait coups et a une adhérence parfaite. Une feuille de papier est d'ailleurs placée sur les couchis pour éviter que cette chape s'attache au bois et soit entraînée ou tou au moins détériorée lors du décintrement.

Aux termes de la circulaire ministérielle du 9 juillet 1877, les ponts à travées métalliques livrant passage à des voies de terre doivent en général être soumis à deux épreuves consistant :

a. — la première, à leur faire supporter une surcharge uniformément répartie de 300 kilog. par mètre carré de tablier, trottoirs compris;

b. — la seconde, à y faire passer en nombre aussi grand que possible à la fois des voitures à un essieu pesant 11 tonnes ou des voitures à deux essieux pesant 16 tonnes, en conservant sur les trottoirs la surcharge de 300 kilog. par mètre carré.

Ces épreuves ne doivent pas développer dans les fers un travail supérieur à 6 kilog. par millimètre carré tant à l'extension qu'à la compression.

Mais, dans les localités où les charges roulantes ci-dessus seraient exagérées, l'administration supérieure se réserve de les réduire eu égard aux circonstances locales, en supposant toutefois pour les voies soumises à la police du roulage un minimum de 6 tonnes en ce qui concerne les véhicules à un essieu et de 8 tonnes en ce qui concerne les véhicules à deux essieux.

Au cas particulier, l'administration a admis, sur la proposition des ingénieurs, les chiffres suivants :

NATURE DES CHEMINS.	POIDS DES VÉHICULES	
	à 1 essieu.	à 2 essieux.
	tonnes.	tonnes.
Chemins de grande communication et chemins d'exploitation desservant un trafic industriel.	8	11
Chemins d'intérêt commun.	7 à 8	10 à 11
Chemins vicinaux ordinaires.	6	9
Chemins ruraux ou de défruitement (sans trafic industriel).	5	7

La note 2 annexée à notre mémoire donne d'ailleurs les formules qui ont été employées pour les calculs et la manière dont elles ont été appliquées.

Prix de revient de l'exhaussement. — On peut admettre en moyenne les prix suivants :

	fr.
1° Pour le tablier, 100 francs en nombre rond par mètre carré, et en tout	2.200
2° Pour le relèvement des culées, de leurs murs en retour et des rampes d'accès	2.800
Total	5.000

§ 3. — **Ponts sur écluses à grande largeur.**

Nomenclature des passages à grande largeur. — Indépendamment des dix-sept ouvrages dont il est question dans le précédent paragraphe, on rencontre dans le département quatre autres ponts sur écluses à grande largeur, savoir :

— 3 passages de la route nationale n° 4 de Paris à Strasbourg dont 2 à Toul et 1 à Varangéville;

— 1 passage pour une artère de la voirie de Toul.

Passages de la route nationale n° 4 à Toul. — Les deux passages de la route nationale n° 4 à Toul étaient à tablier en bois; pour les motifs ci-dessus indiqués, le bois a été remplacé par du fer.

Les nouveaux tabliers ont 10 mètres de largeur dont 7 de voie charretière et 2 trottoirs de $1^m,50$ chacun (Pl. 10, *fig.* 5 à 7).

Ils sont biais.

Leur carcasse métallique se compose :

— de 5 poutres maîtresses analogues à celles des ponts à une voie de voiture espacées de $2^m,125$;

— d'entretoises normales aux poutres maîtresses;

— sur les bajoyers, de garde-grève parallèles à l'axe du canal;

— enfin de consoles de $0^m,75$ de saillie portant de petites longrines de rive et destinées :

1° à donner du mouvement à l'élévation du pont;

2° à combattre la tendance au déversement des poutres maîtresses extrêmes sous l'action des voitures lourdes.

Sur cette carcasse sont établies :

1° entre les poutres extrêmes et les longrines, de petites voûtes en briques ayant leurs génératrices parallèles à l'axe de la route;

2° pour le surplus, des voûtes normales aux premières(*,**).

Ces voûtes portent elles-mêmes : 1° une chaussée empierrée bombée au $\frac{1}{50}$ avec caniveau en quartzite de 0m,07 de pente totale et de 0m,50 largeur; 2° deux trottoirs dallés en ciment de Portland carrelé et bouchardé avec bordure en granite.

La réfection a été faite sans interruption du passage et sans pont de service, par moitiés successives. On a commencé par démolir la première moitié du tablier en poussant le travail un peu au delà de l'axe, de manière à pouvoir placer la poutre maîtresse qui devait occuper cet axe, en concentrant la circulation sur l'autre moitié; puis on a établi la partie correspondante du tablier métallique; quand elle a été terminée, on y a reporté la circulation et on a achevé la démolition et la reconstruction.

Les dimensions des fers sont calculées par les formules indiquées précédemment, mais pour la surcharge roulante des véhicules de 11 tonnes à un essieu.

La position du chariot la plus favorale pour les poutres intermédiaires est celle qui le place à cheval sur cette pièce; quant aux entretoises, il y a lieu de supposer l'une des roues au milieu de leur portée.

On est conduit :

— à adapter aux poutres extrêmes une tablette de renfort et aux autres deux tablettes superposées;

— à prendre des entretoises de 0m,26 de hauteur.

(*) Les mailles triangulaires de la carcasse métallique contre les bajoyers ont été, pour plus de simplicité, remplies par de petites voûtes coniques en béton de ciment.

(**) L'administration supérieure a rendu récemment des décisions proscrivant ces voûtes à génératrices parallèles à l'axe du pont.

Passage d'une rue extérieure de Toul. — Ce passage est analogue aux précédents.

Toutefois il est droit, n'a que 8 mètres de largeur, dont 6 mètres de voie charretière, et ne comporte par suite que 4 poutres maîtresses (Pl. 10, *fig.* 8).

Le tablier est calculé pour des surcharges roulantes à un essieu de 6 tonnes.

Passage de la route nationale n° 4 à Varangéville. — Ce pont a 10 mètres de largeur comme ceux de Toul.

Son tablier se composait :

— de 6 poutres maîtresses en fonte de $0^{m},50$ de hauteur espacées de $1^{m},75$ d'axe en axe et réunies par des entretoises en bois placées parallèlement à l'axe de l'écluse ;

— d'un platelage double en bois de $0^{m},11$ d'épaisseur totale portant une chaussée empierrée avec contre-bordures en chêne ;

— enfin de trottoirs également en chêne, en encorbellement de $0^{m},625$ sur les poutres-maîtresses de rive.

On a conservé les poutres-maîtresses en fonte, mais supprimé la charpente en bois pour la remplacer :

1° par des entretoises en fer à I solidement fixées par des boulons sur l'aile inférieure des poutres ;

2° par deux petites longrines de rive aussi en fer à I (Pl. 10, *fig.* 12 à 14).

Sur les mailles de ce cadre métallique sont établies des voûtes en briques portant une chaussée et des trottoirs dallés en ciment comme au pont de Toul ; la seule différence réside dans la flèche des voûtins que l'on a augmentée eu égard à la hauteur des poutres en fonte, pour ne pas exagérer le poids mort.

§ 4. — Ponts suspendus.

Anciens ponts. Nécessité de les démolir à l'occasion du relèvement. — La plupart des passages supérieurs isolés

étaient formés de tabliers suspendus de $23^m,25$ d'ouverture moyenne laissant au canal sa double voie de bateaux et deux banquettes de halage de $2^m,50$ en nombre rond; le département de Meurthe-et-Moselle en comportait à lui seul 16, dont 15 pour voitures et 1 pour piétons, savoir :

sous des chemins de grande communication.			4
id.	id.	d'intérêt commun.	1
id.	id.	vicinaux ordinaires	3
id.	id.	ruraux.	4
sous des rues de Nancy.			3
sous un chemin de piétons à Nancy.			1
		Total pareil.	16

Ces ponts avaient été construits à une époque où le système dans lequel ils ont été établis était l'objet d'un véritable engouement; mais depuis, des catastrophes successives avaient démontré que les tabliers suspendus ne présentaient pas des garanties parfaites de stabilité et sans les condamner absolument, on avait reconnu qu'il fallait en limiter autant que possible l'emploi à des cas spéciaux où la largeur du débouché à franchir, les difficultés de fondation, la nécessité de réduire le nombre des appuis, l'exiguité des ressources budgétaires, etc., rendaient impossible l'établissement d'ouvrages plus solides.

Dès 1861, M. l'inspecteur général Graëff exprimait cette opinion dans les termes suivants (Construction des canaux et des chemins de fer) :

« On a construit sur le canal de la Marne au Rhin quelques ponts suspendus, quand il s'agissait des chemins secondaires. Ce type qui avait été très vivement recommandé d'abord à cause de la disposition précieuse qu'il présente de franchir le canal et les chemins de halage sans rien changer au profil normal n'a pas tardé à être abandonné.

« Les ponts suspendus sont tombés aujourd'hui dans un

tel discrédit qu'il serait inutile de chercher à les défendre contre des types plus solides, et qu'il faut les réserver sagement pour les cas où d'autres constructions ne seraient pas possibles sans augmentation notable de la dépense.

« . . . . . Il est bien malheureux pour les ponts suspendus que leur système de construction qui est de tous celui dont les parties peuvent le plus exactement se déterminer par le calcul, soit précisément celui de tous qui puisse inspirer le moins de confiance. »

Cette appréciation, émanant d'une autorité telle que celle de M. l'inspecteur général Graëff, nous permet d'affirmer que, malgré tous les soins apportés à leur établissement, les ponts suspendus du canal laissaient à désirer au point de vue de la sécurité (*).

Leur établissement remontait d'ailleurs à trente ans; le temps avait accompli sur eux son œuvre de destruction; c'est à grand'peine et au prix de sacrifices considérables que les ingénieurs avaient pu arriver à entretenir jusqu'ici leur charpente; les câbles eux-mêmes n'avaient pu être complètement soustraits à l'oxydation (**).

Cette situation était particulièrement grave à raison de l'accroissement incessant de la circulation et surtout du poids des voitures. On a en conséquence profité du relèvement du plan d'eau pour substituer aux anciens tabliers des ouvrages métalliques solides.

I. — *Ponts à une voie de voiture. Dispositions du nouveau tablier.* — Le type adopté pour presque tous les ponts (14 sur 16) a 4 mètres de largeur, savoir :

	mèt.
— voie charretière.	2,30
— trottoirs.	1,70
Total pareil.	4,00

(*) Trois accidents déjà sont survenus dans les départements de la Marne et de la Meuse.

(**) La dépense d'entretien s'est élevée jusqu'à 700 francs par ouvrage et par an.

Il comporte :

1° deux poutres-maîtresses en fer et des entretoises reliées par une longrine d'axe;

2° un plancher en bois (*).

Il utilise d'ailleurs les anciennes culées.

Les poutres-maîtresses sont formées (Pl. 10, *fig.* 15 à 19) :

— d'une âme en treillis de $1^m,48$ de hauteur constituée par des lames en tôle de $0^m,06$ de largeur et de $0^m,01$ d'épaisseur inclinées à 45°, fixées à leur sommet et à leur base entre deux cours de cornières et rivées à leur croisement;

— de deux tables courantes de $0^m,50$ de largeur et $0^m,01$ d'épaisseur renforcées par des tables de renfort dont les longueurs et le nombre varient suivant les cas;

— de quatre cornières de $\frac{100 \times 100}{10\frac{1}{2}}$ réunissant les tables à l'âme.

Elles portent de $0^m,70$ sur chacune des culées par l'intermédiaire de coussinets en fonte et de lames de plomb.

Leur âme est consolidée par des montants verticaux doubles en fer à T de $\frac{90 \times 70}{9\frac{1}{2}}$ placés au droit des entretoises.

Sur les appuis, le treillis est remplacé par une tôle pleine de $0^m,01$ d'épaisseur.

Les poutres sont d'ailleurs légèrement cintrées de manière à présenter une flèche de $0^m,25$ en moyenne dans le triple but :

— de leur donner plus de légèreté;

— de mieux assainir le tablier;

— enfin de les raccorder avec les plinthes inclinées des culées et de réduire l'exhaussement des rampes d'accès.

(*) L'emploi de voûtes en briques aurait augmenté outre mesure le poids mort.

Les entretoises sont formées d'un fer à I du commerce de $0^m,26$ de hauteur, d'un profil et d'une résistance variables. Leur espacement est de 1 mètre. Elles sont solidement fixées sur les poutres-maîtresses et pour ainsi dire encastrées à leurs extrémités par de larges goussets en tôle fixés d'une part sur leur âme et d'autre part sur celle des montants en fer à ⊥ des poutres.

Elles sont renforcées par une longrine formée du même fer à I et placée dans l'axe du pont. Cette longrine, à laquelle nous attachons une grande importance, est interrompue à chacune des entretoises; mais les divers tronçons sont énergiquement reliés à l'âme et aux ailes de ces pièces par des cornières et de larges goussets octogonaux qui les rendent parfaitement solidaires et en rétablissent pour ainsi dire la continuité.

Sur la carcasse métallique reposent une voie charretière et des trottoirs en bois.

Le platelage de la voie charretière est constitué par deux cours de madriers de chêne de $0^m,15$ d'épaisseur totale dirigés les uns suivant l'axe du pont et les autres perpendiculairement à cet axe. Il est fixé sur des fourrures en bois légèrement cintrées, boulonnées sur les entretoises et destinées tant à faciliter la liaison du platelage à la carcasse métallique qu'à donner à la voie charretière un bombement de $0^m,02$.

Les trottoirs sont composés :

— de bordures en saillie de $0^m,12$ sur la voie charretière;

— et d'un plancher de $0^m,04$ fixé d'une part sur cette bordure et d'autre part sur les poutres-maîtresses par l'intermédiaire d'une cornière et d'une latte vissée à cette cornière.

Détails sur le mode d'exécution. — Lors de la démolition des anciens tabliers, on se borne à couper les câbles au niveau du couronnement des culées et on abandonne par

suite les amarres que l'on ne peut retirer qu'au prix de dépenses notablement supérieures à leur valeur.

Comme pour les ponts sur écluses et pour le même motif, on exécute en mortier de ciment de Portland les maçonneries en exhaussement sous le tablier.

La circulation sur les voies de terre desservies par les ponts est maintenue au moyen de ponts de service mobiles semblables à celui dont nous avons parlé à propos du relèvement des ponts tournants.

Quant à la circulation des bateaux, elle n'est ni suspendue ni même gênée.

La pose des nouveaux tabliers se fait comme il suit. Les poutres-maîtresses sont amenées sur un bateau ou mieux un radeau où elles sont posées à plat; arrivées à pied d'œuvre, elles sont ripées au moyen de crics et bardées perpendiculairement au canal, puis dressées de champ et enfin saisies par des chèvres et montées sur leurs coussinets. Toute l'opération exige trois heures par poutre. On les réunit aussitôt par quelques entretoises que l'on boulonne provisoirement, pour les empêcher de se voiler ou même de se déverser et on achève enfin le travail.

Surcharges d'épreuves. — Les surcharges roulantes d'épreuves admises comme bases des calculs des fers sont les suivantes :

NATURE DES CHEMINS.	POIDS DES VÉHICULES	
	à 1 essieu.	à 2 essieux.
	tonnes.	tonnes.
Chemins de grande communication.	8	11
Chemins d'intérêt commun et rues extérieures de Nancy	7	10
Chemins vicinaux ordinaires.	6	9
Chemins ruraux ou d'exploitation.	5	7

On a d'ailleurs supposé qu'il ne passerait jamais à la fois plus d'une voiture portant ces poids exceptionnels.

La note 3 donne des indications sur les formules employées au calcul et sur leur application.

Dépense. — Le type de ponts que nous venons de décrire comporte de 21 à 24 tonnes de métal, soit environ 1.000 kilog. par mètre courant d'ouverture utile.

Il coûte environ 15.750 francs en moyenne, savoir :

	fr.
— tablier neuf (somme à valoir comprise). .	12.000
— démolition de l'ancien tablier, exhaussement des culées et des abords.	3.750
Total pareil.	15.750

Le tablier revient donc à 130 francs en nombre rond par mètre carré.

La démolition des ponts est d'ailleurs payée à forfait.

Observation sur le biais d'un pont. — L'un des ponts suspendus ainsi remplacé par un pont métallique est biais. Les entretoises intermédiaires n'en sont pas moins placées perpendiculairement à l'axe de la voie; mais comme elles sont nécessairement horizontales, il en résulte que les projections des poutres maîtresses sur un plan vertical passant par l'axe longitudinal du tablier se confondent — que par suite les deux naissances de chacune des poutres sont à des niveaux différents — et que les entretoises garde-grève des extrémités sont légèrement inclinées. Les appuis opposés en diagonale des deux poutres sont d'ailleurs à la même hauteur.

II — *Pont des Tiercelins à Nancy. Impossibilité d'adopter le type précédemment décrit.* — L'un des ponts suspendus desservait une rue de Nancy qui autrefois était sans importance, mais qui, par suite de la construction du chemin de fer de ceinture, a pris le caractère d'une artère de premier ordre.

Il a été décidé qu'on donnerait au nouveau tablier une largeur de 10 mètres, dont 7 mètres de chaussée et deux trottoirs de 1^{m},50 chacun.

Il devenait dès lors impossible d'appliquer le type précédent qui ne s'adapte qu'à des ponts à une voie.

Il y avait d'ailleurs avantage, eu égard à la largeur de l'ouvrage, à en réduire l'ouverture en construisant de nouvelles culées et en établissant des murs de cuvette réservant la double voie de bateaux indispensable à Nancy par suite de l'importance du mouvement local.

Enfin il y avait lieu, à raison de la situation du pont dans une grande ville, de lui donner un certain cachet décoratif.

Le type auquel on s'est arrêté est le suivant : (Voir Pl. …, *fig.* 20 à 23).

Type adopté. Carcasse métallique. — Le nouveau tablier a 16 mètres d'ouverture, savoir :

	mèt.
— largeur au plafond de la cuvette.	11,00
— fruit des deux murs de cuvette.	0,50
— Deux banquettes de halage de $2^m,55$, ensemble	4,50
Total pareil.	16,00

La carcasse métallique se compose :

1° de cinq fermes espacées de $2^m,125$ chacune ;

2° de deux petites longrines de rive portées par des consoles en encorbellement de $0^m,75$ sur les poutres-maîtresses ;

3° d'entretoises reliant les fermes ;

4° de contreventements en croix de Saint-André dirigés les uns suivant la douelle et les autres dans des plans verticaux.

Les fermes sont elles-mêmes formées d'un arc inférieur circulaire à **I** de $0^m,35$ de hauteur et $0^m,20$ de largeur d'aile, surbaissé au $\frac{1}{8}$ — d'un longeron également à **I** de $0^m,25$ de hauteur dont l'âme se confond vers la clef avec celle de l'arc — de montants en fer à ⊥ de $\frac{125 \times 60}{9}$ espacés de 1 mètre environ — et enfin de treillis réunissant l'arc et

le longeron et fixés à ces deux pièces par des cornières (*). Elles s'appuient par l'intermédiaire de cales de serrage sur des coussinets fixes en fonte scellés eux-mêmes sur les culées avec interposition de lames de plomb.

Le longeron affecte la forme d'un arc parabolique de $0^m,15$ de flèche afin d'assurer l'écoulement des eaux pluviales et le raccordement avec les rampes d'accès.

Les entretoises ont $\frac{235 \times 95}{10}$ d'équarrissage et pèsent 35 kilog. le mètre courant.

Les contreventements sont en fer en ⊔ de $\frac{100 \times 40}{8}$.

Les consoles sont constituées par une lame de tôle serrée entre deux cadres en cornière de $\frac{60 \times 60}{8}$; leur but est :

— de rapprocher les arcs;

— de combattre la tendance au déversement extérieur des fermes de rive;

— et de donner à l'élévation du mouvement et de l'élégance.

La décoration consiste en une corniche en fonte sur chaque tête et des modillons du même métal sur chaque console.

Le pont présente une grande légèreté; l'artifice employé pour arriver à ce résultat a consisté à loger les consoles dans la hauteur des arcs au lieu de les placer par-dessus.

Le cadre métallique est rempli par des voûtes en briques portant une chaussée et des trottoirs dallés en asphalte (**)

(*) Nous avions d'abord prévu des tympans analogues à ceux du pont de Szegedin sur la Theiss (voir un mémoire de feu M. l'ingénieur Cézanne dans les *Annales des ponts et chaussées*, 1864), mais les difficultés de la courbure des fers du commerce nous y ont fait renoncer.

(**) A Nancy, où l'on a des constructeurs de trottoirs en asphalte, on a employé cette matière; en rase campagne, au contraire, on a adopté le dallage en ciment qu'il est plus facile d'y établir et d'y entretenir.

analogues à ceux des ponts sur écluses pour route nationale.

Des garde-corps en fonte couronnent les tympans.

Culées et murs de cuvettes. — Les culées ont 10^{m},70 de largeur et comportent des murs en retour évasés de manière à raccorder la largeur restreinte de la voie sur le pont avec la largeur normale de la rue aux abords. Ces murs sont surmontés :

1° de corniches ornées de corbeaux continuant la ligne des consoles des trottoirs ;

2° de parapets en pierre de taille.

Les murs de cuvette ont 2^{m},30 de hauteur et laissent une hauteur libre de 2^{m},40 pour le passage des chevaux. Ils présentent un fruit de $\frac{1}{10}$; cette disposition est commune à tous les quais du canal et a pour objet tout à la fois d'accroître leur résistance à la poussée extérieure en cas de vidange du canal et de diminuer la surface de frottement des bateaux. Ils sont d'ailleurs tracés suivant des courbes et contre-courbes à grand rayon les raccordant avec un quai voisin et avec les murs qui seront prochainement établis aux abords pour élargir le canal à quatre voies de bateaux à la traversée de Nancy conformément à un projet approuvé par décision ministérielle du 22 juin 1877 (*).

Maintien de la circulation pendant l'exécution des travaux. — Les anciennes culées ont été conservées et servent de contreforts à celles qui ont été construites en avant; on s'est borné à en démonter les parements pour les remployer.

Le travail a été fait sans interruption de la navigation; on a à cet effet établi les murs de cuvette l'un après l'autre

(*) En général, lorsque les sujétions du raccord avec des murs de quai voisins n'existent pas, nous adoptons des raccordements gauches maçonnés à mortier jusqu'à l'inclinaison de 2 de base pour 3 de hauteur. Cette disposition est la meilleure pour les bateaux.

et à l'abri de bâtardeaux formés de pieux bien reliés, de vannages en planches et d'un remplissage en terre. Un égout de la ville passant sous les enceintes, on a percé la voûte et on y a simplement écoulé les eaux de filtrations, ce qui a permis d'éviter les épuisements.

Les fers ont été montés sur des fermes en bois très légères laissant la hauteur nécessaire au passage des bateaux.

Quant à la circulation sur la voie de terre, elle a été maintenue par un pont de service flottant.

Surcharges d'épreuves. — Les dimensions des fers ont été calculées de manière à leur permettre de résister aux surcharges prescrites par les règlements pour les routes nationales.

Nous renvoyons d'ailleurs à la note 4 pour les calculs.

Dépense. — Le travail a été fait à frais communs par l'État et la ville de Nancy qui a pris à sa charge le remaniement des abords et payé en outre pour le tablier et ses culées une subvention ferme de 30.000 fr. en six annuités.

La dépense a été :

— en ce qui concerne le tablier, de 24.500 francs, soit 150 francs environ par mètre carré;

— en ce qui concerne les culées et les murs de cuvette, de 24.500 francs également;

— et par suite en totalité de 49.000 francs.

III — *Passerelle de la Pépinière à Nancy.* — La passerelle suspendue de la Pépinière à Nancy a été remplacée par un tablier métallique de 2 mètres de largeur, reposant sur les mêmes culées et formé :

— de deux poutres maîtresses très légères à treillis et à hauteur variable présentant une flèche de $0^m,40$;

— de petites entretoises de $0^m,12$ de hauteur espacées de 2 mètres d'axe en axe;

— et d'un plancher en bois constitué lui-même : 1° par trois cours de longrines de $\frac{0^m,12}{0^m,12}$ boulonnées sur les entre-

toises et maintenues latéralement à l'aide de petites cornières; 2° par un platelage de 0m,05 d'épaisseur. (Voir Pl. 11, *fig.* 1 et 2).

Le tablier a été calculé pour résister à une surcharge de 400 kilog. par mètre carré à raison de sa situation dans la ville, en un point où se donnent des fêtes publiques et où par suite il y a à redouter une très grande accumulation de passants.

La circulation a été maintenue au moyen d'une passerelle provisoire montée sur une petite embarcation que l'on déplaçait à l'approche des bateaux.

La dépense a été:

1° pour le tablier, de 6.000 francs, soit 120 francs par mètre carré;

2° pour les culées et les abords, de 2.500 francs;

3° au total, de 8.500 francs.

§ 5. — Ponts à deux travées en bois.

Ponts anciens; substitution de tabliers métalliques. — Le canal comportait dans Meurthe-et-Moselle trois ponts de 20 mètres d'ouverture à pile centrale et à tablier en bois pour le passage de chemins secondaires.

La pile présentait les dangers les plus sérieux pour la navigation, soit pendant la nuit, soit pendant les temps de brouillard : les mariniers, habitués en effet à prendre l'axe du canal à l'approche des ponts, étaient exposés à heurter la pile et à y échouer leurs bateaux.

On profite de l'occasion pour démolir cette pile et pour établir un tablier métallique en une seule travée, tout à fait analogue à ceux qui sont substitués aux ponts suspendus.

§ 6. — Ponts à travée unique en bois.

Ponts anciens; nouveaux tabliers. — Un certain nombre

de passages étaient également formés de tabliers en bois à travée unique de 8 à 10 mètres d'ouverture.

On y adapte, en utilisant les anciennes culées, de petits tabliers métalliques dont nous donnons à la Pl. 11, *fig.* 3 et 4, un spécimen pour un pont de $8^{m},30$ d'ouverture.

La carcasse métallique se compose :

— de deux poutres-maîtresses de $0^{m},42$ de hauteur, espacées de $2^{m},90$;

— d'entretoises de $\frac{254 \times 102}{10\frac{1}{2}}$ reliant ces poutres et espacées de $1^{m},05$;

— de deux longrines de rive de $\frac{235 \times 95}{10}$ portées par des consoles en encorbellement sur les poutres-maîtresses.

Ces poutres sont formées d'une âme pleine en tôle de $0^{m},01$, de tables de $0^{m},30$ de largeur avec tablette de renfort et de cornières de $\frac{80 \times 80}{9}$. Elles s'élèvent jusqu'à la face inférieure du dallage des trottoirs, ce qui permet de leur donner de la hauteur sans alourdir l'aspect de l'ouvrage.

L'empierrement de la chaussée et la chape des trottoirs reposent sur des voûtes en briques.

La dépense est de 120 francs par mètre carré de tablier.

§ 7. — Ponts en maçonnerie.

Nous avons donné, dans une note insérée aux *Annales des ponts et chaussées*, année 1878, 1er semestre, p. 592, les dessins d'un pont en maçonnerie dit « de la station de Frouard » et indiqué le procédé employé pour son exhaussement.

Nous nous bornons à rappeler en deux mots que ce procédé a consisté :

— à mettre la voûte sur cintre ;

— à la couper aux naissances;
— à la relever avec son cintre au moyen de verrins;
— et à la refermer.

Pour le surplus, nous ne pouvons que renvoyer à la notice précitée.

Cette opération doit être prochainement reproduite pour un ouvrage semblable, le pont de Crévic (*).

§ 8. — Ouvrages spéciaux.

Nomenclature des ouvrages spéciaux. — Parmi les ouvrages spéciaux, nous citerons les plus intéressants, savoir :

— une batterie casematée de la place de Toul;
— un pont à tablier en fonte et bois à Frouard;
— un pont en arc en fonte et bois à Nancy.

I. *Batterie casematée de Toul; ancienne situation.* — Cet ouvrage de défense, établi en avant de l'un des bastions de Toul, comprenait :

— une voûte inférieure en maçonnerie destinée tant à maintenir la continuité du terre-plein d'une contre-garde qu'à recevoir deux pièces de campagne :

— une voûte supérieure surmontée d'un cavalier et ayant pour objet de protéger les pièces et leurs servants contre le tir plongeant;

— enfin sur la tête, côté du Rhin, un masque en maçonnerie percé de deux embrasures et s'élevant de l'extrados de la voûte inférieure à l'intrados de la voûte supérieure.

La voûte inférieure avait 8 mètres de largeur. Elle était intradossée en arc de cercle de $9^{m},50$ d'ouverture et de $0^{m},90$ de flèche; sa hauteur libre au-dessus du plafond

(*) *P. S.* — Depuis la rédaction de notre mémoire, nous avons relevé ce pont au moyen de cintres en fer; le travail a parfaitement réussi et il ne s'est produit aucune fissure dans la voûte.

n'était que de $5^m,10$ sur la largeur d'une voie de bateau et devait par suite être augmentée de $0^m,60$.

Diverses combinaisons étudiées pour le relèvement. — Trois combinaisons avaient été étudiées pour ce relèvement.

La première consistait :

— à démolir le masque et la voûte inférieure;

— à rétablir cette voûte en maçonnerie à $0^m,60$ plus haut;

— à reconstruire le masque en relevant les embrasures pour maintenir leurs faces inférieures à la hauteur voulue,

— et à laisser intacte la voûte supérieure.

La seconde consistait :

— à démolir entièrement l'ouvrage entre ses culées,

— et à le rétablir à $0^m,60$ plus haut.

La troisième ne différait de la première que par la substitution d'un tablier métallique, avec fermes en arc de cercle de $0^m,30$ d'épaisseur à la clef, à la voûte inférieure en maçonnerie, sauf au droit du masque, où il était indispensable de la rétablir en maçonnerie pour lui permettre de résister plus sûrement non seulement au poids du mur, mais encore et surtout au choc des projectiles.

Le service du génie ayant repoussé absolument la première parce qu'elle réduisait outre mesure la hauteur de la casemate, il ne restait qu'à choisir entre les deux autres.

La seconde avait :

— pour le service civil, l'inconvénient de nécessiter la réfection complète de l'ouvrage et de lui imposer par suite des dépenses considérables;

— et pour le service militaire, le désavantage d'augmenter la durée des travaux.

La troisième ne réduisait que de $0^m,30$ la hauteur de la casemate, — se prêtait à une exécution rapide, — entravait moins longtemps la navigation, — rendait plus tôt à la place ses moyens de défense, — enfin coûtait moins cher. C'est celle qui a été adoptée.

Structure nouvelle de l'ouvrage et mode d'exécution. — On a tout d'abord démoli le masque, puis la voûte in- rieure, mise à cet effet sur un cintre très plat adossé a deux culées.

Une fois l'opération terminée, on a établi le tablier mé- tallique.

La carcasse de ce tablier se compose (voir Pl. 11, fig. à 8) :

— de quatre fermes en fer espacées de 1m,80 d'axe axe ;

— d'entretoises reliant les fermes ;

— de consoles en encorbellement sur la ferme de du côté de la Marne ;

— d'une petite longrine de rive portant le garde-co

— enfin de contreventements.

Sur cette charpente reposent des voûtes en briques re- tues d'un enduit en ciment carrelé et bouchardé.

Les fermes sont elles-mêmes formées :

— d'un arc en fer composé à I de 0m,275 de haut et 0m,20 de largeur d'aile dont l'intrados épouse exa- ment la forme de la voûte en maçonnerie faisant suite tablier et qui repose sur les culées par des coussinets clef de serrage ;

— d'un longeron supérieur en fer de mêmes di- sions ;

— et de montants reliant ces deux pièces et const par leur âme, leurs cornières et leurs tables conven- ment retournées.

Vers le milieu, l'arc et le longeron se confondent en seule pièce.

Les entretoises sont des fers à I du commerce de 0 de hauteur espacés de 1 mètre.

Le contreventement est formé de petits fers en ⊔ di- sés en croix de Saint-André.

Après la pose du tablier métallique qui devait ser

l'approche des matériaux du nouvel anneau de voûte, on a remis les cintres en place sous cet anneau, et on l'a reconstruit vivement en employant du mortier de ciment de Portland; on l'a décintré presque aussitôt sans avoir un tassement de plus de $0^m,002$, et on a rétabli le masque en y ménageant une voûte de décharge passant immédiatement au-dessus des embrasures pour soulager la voûte inférieure.

Surcharges d'épreuves. — Les fers ont été calculés pour une surcharge uniformément répartie de 400 kilog. par mètre carré, mais de telle sorte que le travail statique développé par cette surcharge ne dépassât pas 2 kilog. par millimètre carré. Cette limite avait été imposée par le service de la guerre, à raison des trépidations résultant du tir du canon.

Les calculs font l'objet de la note 5.

Dépense. — La dépense a été : 1° pour le tablier, de 8.000 francs, soit 130 francs par mètre carré; 2° pour les maçonneries, de 6.000 francs en nombre rond.

II. *Pont en fonte et bois de Frouard.* — La route nationale n° 57 traverse à Frouard le canal de la Marne au Rhin par un pont de 12 mètres d'ouverture biaise autrefois formé de poutres en fonte et d'un tablier en bois portant une chaussée empierrée.

Cet ouvrage est tout à fait analogue, à part son ouverture, au pont de l'écluse de Varangéville dont il a été question au § 3; il a été remanié et amélioré de la même manière. Toutefois, comme les poutres en fonte étaient sensiblement plus élevées, on a dû placer la retombée des voûtes en briques, non plus sur l'aile inférieure, mais sur l'aile supérieure des entretoises, de manière à réduire l'épaisseur et le poids de la chaussée.

Les trous nécessaires à l'assemblage des traverses sur les poutres en fonte par des boulons ont été percés sur place.

La circulation des voitures a été reportée sur un pont voisin auquel il était facile d'accéder par d'autres chemins sans grand allongement de parcours.

La dépense a été, pour les culées et les abords, de 5.250 francs environ, et, pour le tablier, de 6.300 francs environ, soit de 50 francs par mètre carré.

III. *Pont Saint-Georges à Nancy; dispositions anciennes.* — La route nationale n° 74 de Chalon-sur-Saône à Sarreguemines traverse le canal à Nancy sur un pont dit « Saint-Georges ».

Ce pont, biais à 75 degrés, a une ouverture droite de 16^{m},10, une ouverture biaise de 16^{m},66 et une largeur de 10^{m},20, dont 7 mètres de voie charretière et deux trottoirs de 1^{m},60 chacun (voir Pl. 11, *fig.* 9 à 11).

Il se composait de quatre fermes Polonceau en fonte portant un tablier en charpente.

Les fermes étaient espacées de 2^{m},75 d'axe en axe et formées :

— d'un arc à section elliptique surbaissé au $\frac{1}{16}$ environ;

— de tympans boulonnés sur l'arc.

Elles étaient bien contreventées.

Par-dessus étaient placés :

1° au droit de la voie charretière, un platelage en bois recouvert d'un empierrement ;

2° deux trottoirs constitués par des traverses, des longrines et un plancher en bois, et disposés, sur une partie de leur largeur, en encorbellement sur les fermes de rive.

Dispositions nouvelles. — Il a été décidé qu'à l'occasion de l'exhaussement, le platelage en bois serait remplacé par un nouveau platelage en briques et métal, afin de réduire les sujétions de l'entretien, d'accroître la résistance de l'ouvrage, d'amoindrir l'épaisseur du tablier et de diminuer le rechargement très onéreux des rampes d'accès.

Le nouveau platelage est composé de voûtes en briques et d'entretoises en fer reposant, d'une part, sur les fermes

anciennes convenablement relevées, et, d'autre part, sur des fermes de rive en fer placées à l'aplomb des garde-corps.

Par-dessus sont assis des trottoirs en asphalte et une chaussée en empierrement.

Fermes de rive. — Les fermes de rive des trottoirs ont été étudiées de manière à présenter un aspect en harmonie avec celui des anciennes fermes en fonte et à démasquer les arcs de ces dernières fermes.

Elles sont formées d'un arc en fer à I concentrique à l'intrados des arcs Polonceau et d'un longeron également à I, réunis par des montants placés au droit de ceux des tympans des fermes en fonte; elles sont consolidées par des contreventements situés en face de ces montants. Leur épaisseur à la clef est de $0^m,27$. L'âme et les tables des montants sont en prolongement de celles de l'arc et du longeron, retournées de façon à établir entre toutes ces pièces une solidarité complète et à réduire la poussée sur les culées. Vers la clef, les cornières inférieures du longeron et les cornières supérieures de l'arc sont supprimées, et ces deux pièces sont réunies en une seule.

Les arcs reposent sur les culées par l'intermédiaire de coussinets avec clefs et contre-clefs de serrage.

Entretoises. — Les entretoises de la chaussée sont en fer à I de $0^m,260$ de hauteur et portent sur des oreilles venues de fonte sur les fermes Polonceau et placées à la retombée des traverses en bois de l'ancien platelage; elles y sont fixées par des boulons.

Les entretoises des trottoirs sont en fer à ⊥ et portent sur la table supérieure des entretoises de la chaussée, ainsi que sur les cornières inférieures du longeron de rive.

Voûtes en briques. — Les voûtes en briques sont semblables à celles que nous avons décrites antérieurement. Elles sont interrompues au droit des oreilles des fermes en fonte; les intervalles sont comblés par des bandes en tôle

qui sont renforcées sur leurs bords, fixées sur la tablette supérieure des entretoises et protégées contre l'action des eaux par un enduit en asphalte posé sur béton.

Chaussée et trottoirs. — La chaussée n'offre aucune particularité. Quant aux trottoirs, les seuls points à signaler sont les suivants :

1° leur pente est dirigée vers l'extérieur, afin de ne pas exagérer l'épaisseur de l'ouvrage à la clef. Il n'en résulte en fait aucun inconvénient, ni pour la circulation sur le pont, ni pour la conservation des fers des arcs de rive;

2° les conduites d'eau de la ville sont logées dans les trottoirs, bien qu'elles ne soient ainsi que peu protégées contre le froid; le courant continu qui y est maintenu, le cas échéant, suffit pour empêcher les eaux de s'y congeler.

La substitution d'un plancher métallique à l'ancien plancher en bois a permis de réduire l'exhaussement maximum de la chaussée à $0^m,11$. On a fait le rechargement entièrement en trapp, afin de ne pas arracher l'ancienne chaussée, dont le déblai aurait coûté extrêmement cher, et de ne pas interposer des matériaux tendres entre deux couches de matériaux durs.

Mode de relèvement des fermes. — Les fermes Polonceau ont été mises sur des cintres très légers. On les a relevées au moyen de verrins prenant leurs points d'appui sur les banquettes de halage; on a établi par-dessous des coussinets en pierre dure qui reposent sur le cordon ménagé à la retombée de l'ancienne douelle, puis on les a ramenées et fait reposer sur ces coussinets.

Cette solution a permis de diminuer notablement la démolition de maçonnerie prévue au projet qui comportait le relèvement du cordon.

Les trous de boulons à pratiquer dans les oreilles des fermes l'ont été sur place.

La circulation sur la route a été maintenue au moyen d'un pont provisoire flottant.

Résistance des fers. — Les nouvelles pièces métalliques du pont ont été calculées pour résister aux surcharges réglementaires en ce qui concerne les routes nationales (voir la note 6).

On a d'ailleurs vérifié que les anciennes fermes ne seraient pas fatiguées outre mesure par les épreuves.

Dépense. — La dépense a été de 22.000 francs, savoir :

	fr.
1° maçonneries et rechargement des abords.	10.500
2° tablier	11.500
Total.	22.000

soit 70 francs par mètre carré.

L'enlèvement et la remise en place des fermes dans leur nouvelle situation est comprise au chiffre ci-dessus pour une somme à forfait de 3.000 francs, moyennant laquelle l'entrepreneur a dû fournir les cintres et faire toutes les mains-d'œuvre, et a eu la responsabilité pleine et entière de l'opération. (Chaque ferme pesait 6.300 kilog.).

IV. *Passerelle pour piétons.* — Aux ouvrages précédents il convient d'ajouter une passerelle métallique pour piétons de 10^m,40 d'ouverture en arc.

Cette passerelle, qui était en bon état, a été soutenue par un échafaudage très léger, puis simplement descellée, élevée au moyen de moufflettes et rescellée dans sa nouvelle position, après exhaussement des culées.

§ 9. — Exécution des ouvrages à l'entreprise.

Exécution par entreprise. — Les raisons qui avaient déterminé l'administration supérieure à admettre l'exécution partielle en régie des ouvrages afférents à l'exhaussement des digues n'existaient pas pour les ponts dont le relèvement et la réfection ont généralement fait l'objet d'adjudications.

Division en lots. — On a à cet effet partagé les ouvrag en un certain nombre de groupes que l'on a eux-mêm divisés en deux lots comprenant, l'un les tabliers méta liques, et l'autre les maçonneries des culées et le relèv ment des rampes d'accès.

Cette division a permis d'économiser le bénéfice qu'u entrepreneur unique aurait voulu inévitablement préle sur les ouvrages qui ne seraient pas rentrés dans sa spé cialité et dont il aurait dû par suite sous-traiter l'exéc tion.

Elle n'a donné lieu à aucune difficulté, à aucun tirail ment et à aucune perte de temps, comme on aurait pu craindre au premier abord; les devis particuliers con naient d'ailleurs à cet égard les prescriptions les plus f melles et rendaient, le cas échéant, chacun des entrep neurs responsable des retards et des pertes qu'il aurait f subir à son confrère.

Principales clauses des cahiers des charges. — Comme importait d'assurer la prompte exécution des travaux manière à réduire au strict minimum la gêne imposée à navigation et à la circulation sur les voies desservies p les ouvrages, les cahiers des charges stipulent :

— pour les principales opérations qu'exigent la dém tion et la réfection de chaque ouvrage, un délai maxim

— en cas de retard, des retenues progressives fixées

fr.				
10	par jour pour chacun	des 5	premirs jours
20	id.	id.	des 5	jours suivants
30	id.	id.	des 5	id.

et ainsi de suite, en augmentant le taux de 10 francs p chaque nouvelle période de cinq jours.

Les cahiers des charges fixent en outre avec précision minimum de hauteur libre et de largeur à ménager, s au droit de la cuvette pour les bateaux, soit au droit d banquettes de halage pour les chevaux.

Ajoutons enfin que les devis spéciaux aux lots dans lesquels sont comprises les démolitions déterminent la limite maximum de la proportion de matériaux que l'entrepreneur pourra détériorer, sous peine de remplacer le surplus à ses frais.

Cette limite est, suivant les cas :

— de $\frac{1}{10}$ à $\frac{1}{5}$ pour les pierres de taille;
— de $\frac{1}{5}$ à $\frac{1}{3}$ pour les moellons de parement (qu'il est très difficile d'arracher);
— de $\frac{1}{10}$ pour les bois;
— de $\frac{1}{20}$ pour les fers.

§ 10. — Passerelle de Malzéville à Nancy.

Nécessité d'une passerelle de piétons près le pont tournant de Malzéville. — Nous croyons intéressant de terminer le présent chapitre par quelques indications sur un ouvrage qui, sans avoir été relevé, a été exécuté en même temps que les travaux d'exhaussement du plan d'eau et qui est susceptible d'application en beaucoup d'autres cas.

Le canal de la Marne au Rhin présente un certain nombre de ponts tournants qui imposent aujourd'hui de graves embarras à la circulation sur les voies de terre qu'ils desservent, d'une part, parce que la fréquentation de ces voies de communication s'est considérablement accrue, et, d'autre part, parce que la navigation a pris elle-même un développement inattendu.

Celui dont la situation à cet égard était la plus fâcheuse était placé à Nancy près de la commune suburbaine de Malzéville; les communications y étaient souvent interceptées pendant 3 heures par jour.

Ces interruptions donnaient lieu à de très légitimes réclamations. Il était impossible de les faire cesser par l'établissement d'un pont fixe que les nombreuses constructions voisines rendaient irréalisable; mais on a pu y

remédier en accolant au pont tournant une passerelle [illegible] piétons.

Dispositions de l'ouvrage. — Cette passerelle comp[illegible] un palier de 10^m,30 de largeur et deux escaliers inclin[illegible] 1,6 de base pour 1 de hauteur. (Voir Pl. 11, *fig.* 12 à 1[illegible]

Sa largeur est de 1^m,75 au sommet et de 2^m,25 à [illegible] base (cette différence sera expliquée dans un instant); el[illegible] est donc en moyenne de 2 mètres.

Son ouverture est de 22^m,50; elle intercepte le marc[illegible] pied de contre-halage, ce qui n'a aucun inconvénient [illegible] cas particulier, à raison de la situation de l'ouvrage.

On lui a attribué une hauteur un peu supérieure à la [illegible] mite de 5^m,70 admise pour le relèvement des ponts, [illegible] de la préserver plus complètement, à cause de son extr[illegible] légèreté, contre le choc des bateaux à comble ou à cha[illegible] ment trop élevés.

Sa carcasse métallique est composée :

— de deux arcs de rive en fer à I du commerce de 0^m,[illegible] de hauteur et 0^m,13 de largeur d'aile épousant la forme [illegible] nérale de l'ouvrage;

— d'entretoises également en fer à I de 0^m,12 de h[illegible] teur;

— d'un contreventement en fer plat.

Les arcs sont cintrés et ont ainsi une flèche de 0^m,5[illegible] plan; cette courbure a le double avantage :

— d'évaser la passerelle à sa base et d'en faci[illegible] l'accès;

— et surtout de donner aux arcs de la résistance [illegible] déversement et au flambage.

Ils sont terminés à leur partie inférieure par des s[illegible] courbes en fer forgé reposant sur des coussinets en f[illegible] dont la section affecte également la forme cylindriqu[illegible] dans lesquels ils peuvent rouler, lorsque la fibre moye[illegible] des arcs se déforme par l'action des surcharges et [illegible] variations de température.

Les coussinets sont eux-mêmes composés de deux pièces, l'une fixe, l'autre mobile, avec clefs et contre-clefs de serrage permettant de régler exactement la position des arcs; ils sont placés à peu près normalement à la direction moyenne de la réaction des culées et énergiquement amarrés au massif des fondations pour empêcher les arcs de se soulever et, par suite, d'en sortir sous l'influence d'un vent violent.

Sur la carcasse métallique est établi un tablier en bois.

Le tablier du palier est formé de trois cours de longrines et d'un platelage en madriers de 0^{m},03.

Quant aux escaliers, ils sont faits de marches de 0^{m},05 et de contre-marches de 0^{m},03 d'épaisseur assemblées sur de faux limons taillés en crémaillère et encastrés entre les tables des poutres de rive.

Les arcs sont couronnés de très légers garde-corps imitant ceux du kiosque de l'Esplanade de Metz et de la passerelle de Welferding sur le canal de la Sarre.

Une grille en fonte rattachée à la passerelle et disposée près de ses naissances interdit le passage sous l'ouvrage du côté du halage, dans la zone qui n'offrirait pas une hauteur suffisante.

Les coussinets sont fixés sur des massifs de fondation capables de résister à la poussée; ils sont recouverts de plaques en fonte striée permettant de les visiter et formant marches palières.

Résistance des fers. — Le tablier métallique a été calculé pour une surcharge d'épreuve de 400 kilog. par mètre carré de projection horizontale comme celui de la passerelle de la Pépinière et pour les mêmes motifs.

On a, pour ce calcul, remplacé la fibre moyenne des fermes de tête par un arc de cercle de même ouverture et de même flèche qui d'ailleurs s'en écartait fort peu et on a appliqué à la pièce fictive ainsi substituée à la pièce réelle

les formules indiquées pour la batterie de Toul, (note n° 5); on a d'ailleurs limité le travail à $2^k,30$ environ :

1° pour tenir compte des effets des changements brusques de courbure des fermes ;

2° pour compenser l'influence du cintrage en plan de ces fermes qui devaient réduire un peu leur résistance à leur flexion ;

3° pour ne pas trop réduire leur poids mort et ne pas accroître les oscillations que produit le passage des piétons.

Il convient d'ailleurs d'observer que la hauteur de 0m,1 attribuée aux fers était commandée par les nécessités de construction au moins au droit des escaliers, et que le profil adopté était le plus léger et le plus économique de ceux du commerce pour cette hauteur.

La flexion théorique aurait pu être de $0^m,002$ pour la charge permanente, $0^m,004$ pour la surcharge, $0^m,013$ pour une variation de température de 40°; en fait elle est loin d'atteindre ces limites grâce à la solidarité des fermes avec les garde-corps, les entretoises et le tablier en bois.

Dépenses. — Le travail a été payé à parts égales par l'État et par les communes de Nancy et de Malzéville.

Il a coûté 10.000 francs, dont 4,500 francs environ pour le tablier et le surplus pour les culées et les perrés établis dans la cuvette afin de réduire l'ouverture de la passerelle.

CHAPITRE IV.

RELÈVEMENT DES PASSAGES SUPÉRIEURS POUR VOIES DE FER ET OBSERVATIONS D'ENSEMBLE SUR L'EXHAUSSEMENT DES PONTS

§ 1er. — Pont de Fontenoy.

Le canal passe trois fois sous le chemin de fer de Paris à Strasbourg dans le département de Meurthe-et-Moselle, à Fontenoy, à Liverdun et à Champigneules.

Ces trois passages ont dû être relevés.

Ancienne situation. — Le premier est biais à 60°; il a 10 mètres d'ouverture droite et $11^m,55$ d'ouverture biaise. (Voir Pl. 11, *fig.* 18 et 19).

Il était formé d'une voûte en maçonnerie appareillée dans le système hélicoïdal, de $8^m,55$ de largeur et de $1^m,34$ de flèche, ne laissant qu'une hauteur libre de $5^m,23$ sur la largeur d'une voie de bateau.

Cette hauteur devait être augmentée au minimum de $0^m,47$.

Projet primitif. — Pour arriver à ce résultat, sans modifier le profil en long, nous avions présenté un projet qui comportait la démolition de la voûte et son remplacement par un tablier métallique à poutres droites — qui se prêtait à une grande rapidité d'exécution — qui permettait d'ailleurs de ne laisser les cintres sous l'arche que pendant fort peu de temps et de réduire ainsi au strict minimum la durée de la gêne imposée à la navigation. La dépense devait être de 25.000 francs environ.

M. le ministre avait approuvé ce projet par décision du 12 novembre 1875, mais prescrit en même temps de préparer et de lui soumettre un projet de convention chargeant la compagnie de l'Est de l'exécution des travaux pour le compte de l'État.

Dans la conférence ouverte en conformité de cette prescription, la compagnie a proposé de rétablir le pont en maçonnerie; comme la responsabilité de l'opération devait lui incomber, sa proposition a été accueillie.

Dispositions définitivement adoptées. — L'arche a en conséquence été démolie et reconstruite à $0^m,67$ plus haut; on lui a ainsi donné un surcroît de hauteur de $0^m,20$ justifié par le biais de l'ouvrage et par la difficulté que les bateaux éprouvent à suivre exactement l'axe du passage.

La compagnie a employé des cintres parfaitement étu-

diés pour gêner aussi peu que possible la navigation pendant la démolition.

Les fermes de ces cintres étaient composées :

1° au droit de la cuvette, de vaux métalliques en fer à de $7^m,40$ de portée, ayant au milieu $0^m,43$ et aux extrémités $0^m,19$ de hauteur et calculés de manière à travailler au plus à 9 kilog. par millimètre carré, ce qui n'avait rien d'exagéré pour un ouvrage provisoire;

2° contre les culées, de chevalets en bois recevant la retombée de ces vaux métalliques et portant les vaux en bois qui les continuaient jusqu'aux naissances.

Ces fermes, espacées de $1^m,07$ d'axe en axe, étaient solidement reliées et entretoisées :

— au droit des vaux métalliques, par des boulons à gaîne en fonte s'opposant aussi bien à leur écartement qu'à leur rapprochement;

— au droit des chevalets en bois, par des chapeaux et des croix de Saint-André.

Elles reposaient :

— d'une part, sur la banquette de halage;

— d'autre part, sur la banquette de contre-halage et une file de pieux.

Des estacades les protégeaient contre le choc des bateaux.

On a commencé par établir un service à voie unique sur pilotage sur l'une des moitiés du pont en ripant un peu la voie vers la tête correspondante; puis on a démoli et reconstruit l'autre moitié en y employant du mortier de ciment de Portland. On a ensuite reporté sur cette dernière zone la circulation des trains et achevé le travail sur le surplus de la voûte.

La plate-forme du chemin de fer a d'ailleurs été relevée sur une assez grande longueur de chaque côté du passage au moyen de bourrages successifs sous les traverses.

L'opération dirigée par MM. Petsche et Bruniquel, in-

nieurs des ponts et chaussées attachés à la Compagnie, a parfaitement réussi.

La dépense a été de 49.000 francs.

§ 2. — Pont de Liverdun.

Ancienne situation. — Le pont de Liverdun est biais à 80°; il a une ouverture droite de 8 mètres et une ouverture biaise de $8^m,10$ (Voir Pl. 12, *fig.* 1 à 4).

Il ne laissait qu'une hauteur libre de $5^m,18$ au-dessus du plafond et devait être par suite exhaussé de $0^m,52$.

Il était à tablier métallique.

Ce tablier se composait :

— de quatre poutres-maîtresses en fonte;

— de deux longrines de rive du même métal;

— enfin d'un plancher en bois reposant sur les patins inférieurs des poutres et supportant le ballast et les voies.

Son épaisseur totale entre la crête des rails et la sous-face des poutres était de $0^m,75$.

Substitution d'un nouveau tablier. — La proximité de la station de Liverdun d'une part et d'un grand pont sur la Moselle d'autre part n'a pas permis de procéder au relèvement pur et simple de ce tablier; il a fallu le remplacer par un tablier en fer d'une épaisseur notablement moindre.

Comme pour le pont de Fontenoy, le projet a été fait et les travaux ont été exécutés par la compagnie de l'Est (M. Bruniquel, ingénieur en chef des ponts et chaussées et ingénieur principal de la Compagnie), après entente avec le service du canal et celui du contrôle du chemin de fer.

La carcasse de ce nouveau tablier se compose :

— de quatre poutres à caisson de $0^m,413$ d'épaisseur totale mesurée entre le dessus du rail et le dessous des têtes des rivets les plus bas;

— de deux longrines à I du commerce de $0^m,30$ de hauteur;

— d'entre-toises à **I** de $0^m,120$ de hauteur reliant les poutres-maîtresses entre elles et avec les longrines;

— de garde-grève en fers corniers à l'extérieur des poutres à caisson.

Les rails sont disposés à l'intérieur de ces poutres dont ils affleurent le plan supérieur. Les entretoises portent un platelage en madriers sur lequel repose une couche de ballast destinée à mettre ce plancher à l'abri du feu.

Les poutres à caisson qui constituent les pièces principales du nouveau tablier sont formées :

— d'une âme en tôle de $0^m,01$ d'épaisseur;

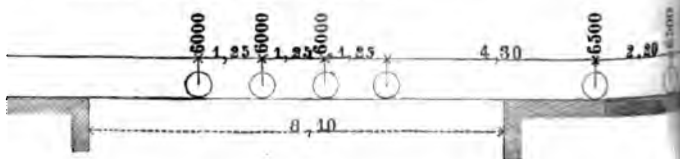
— de quatre cornières de $\frac{100 \times 100}{12}$;

— de tablettes courantes de $0^m,28$ de largeur et 0ᵐ d'épaisseur;

— et de deux tablettes de renfort étagées à leur sommet et à leur base.

Calculs de résistance des fers. — Les poutres ont été calculées d'après les bases indiquées à l'article 5 de la circulaire ministérielle du 9 juillet 1877, en ajoutant au poids permanent de l'ouvrage une surcharge uniformément répartie de 8.250 kilogr. environ par mètre courant et en appliquant par suite les formules (1) et (2) de la Note s...

On a d'ailleurs vérifié qu'ainsi établies, elles pouvaient porter, sans travailler à plus de 6 kilogrammes par millimètre carré, une machine à marchandises à quatre essieux couplés et son tender pesant ensemble 74 tonnes, dont 12.000 kilog. sur chacun des essieux de la locomotive et 13.000 kilog. sur chacun de ceux du tender ainsi que le montre le croquis ci-dessous.



Les formules et leur application sont données par la note 7.

Mode d'exécution et dépense. — Le relèvement s'est fait par moitiés successives correspondant l'une à la voie montante et l'autre à la voie descendante.

La circulation des trains a été, comme pour le pont de Fontenoy, assurée par un service à voie unique avec pilotage et signaux réglementaires.

La dépense était estimée à 32.000 francs, déduction faite des fontes de l'ancien tablier évaluées à 2.000 francs. Une économie sensible a pu être réalisée sur ce chiffre qui a été réduit en fait à 21.750 francs.

§ 3. — Pont de Champigneules.

A. — *Ancienne situation et combinaisons diverses étudiées pour l'accroissement de la hauteur libre du passage.*

Ancienne situation. — Le pont en maçonnerie de Champigneules est biais à 30° (Voir Pl. 12, *fig.* 5 à 8). Son ouverture droite est de 10 mètres, et son ouverture biaise de 19m,15. Sa largeur entre garde-corps est de 11m,85, savoir :

	mèt.
— zone affectée au passage du chemin de fer. . .	8,25
— zone affectée au passage d'un chemin latéral. .	3,60
Total pareil.	11,85

L'arche était formée :

— de six anneaux isolés en maçonnerie de pierre de taille d'Euville appareillés dans le système héliçoïdal;

— de cinq anneaux en béton de 1m,25 de largeur remplissant les intervalles entre les anneaux en pierre de taille.

Les anneaux en pierre des têtes avaient 1m,25 de largeur; les autres n'avaient que 0m,75; leur épaisseur uniforme était de 1m,30.

La flèche de la voûte était de 1m,65; la hauteur libre

entre le plan d'eau du bief du canal tendu à 2 mètres de mouillage et l'intrados de la voûte sur la largeur d'une voie de bateau ne dépassait pas 3m,235 et devait par suite être augmentée de 0m,465.

Combinaisons primitivement étudiées pour l'exhaussement. — Deux combinaisons ont d'abord été étudiées pour l'augmentation de la hauteur du pont de Champigneulles. Elles consistaient :

— l'une à démolir l'arche actuelle et à la reconstruire à 0m,465 plus haut ;

— l'autre à la remplacer par un tablier métallique à poutres droites.

La première avait le double inconvénient :

— de comporter un travail de très longue haleine et d'imposer par suite une gêne prolongée à l'exploitation du chemin de fer et du canal ;

— de nécessiter un relèvement de la voie ferrée et un accroissement de la rampe entre la station de Champigneulles et le pont, c'est-à-dire un changement regrettable au point de vue des manœuvres de cette station.

La seconde se prêtait à une exécution plus rapide et n'exigeait pas de remaniement dans le profil en long du chemin de fer ; mais elle n'en devait pas moins gêner encore dans une large mesure la circulation des trains ; elle conduisait d'ailleurs à une dépense considérable.

Les ingénieurs du chemin de fer et du canal ont d'un commun accord cherché s'il ne serait pas possible de renoncer à ces deux solutions pour en adopter une troisième qui pouvait paraître hardie, mais qui n'en a pas moins été réalisable et qui consistait simplement à rescinder la voûte à l'intrados.

Étude relative à la possibilité d'un simple rescindement de la voûte. — Le nouveau profil de la douelle, au lieu de comporter un arc de cercle unique dans le plan des têtes, devait être une courbe à trois centres comprenant :

— à la partie supérieure et sur la largeur d'une voie de bateau, un arc situé à 0m,465 au-dessus de l'ancien intrados;

— de chaque côté, un autre arc se raccordant avec le premier et passant par la ligne des naissances qui n'était pas modifiée.

L'épaisseur de la voûte était ainsi ramenée à 0m,835 dans l'étendue de la zone de 5m,20 de largeur correspondant à la voie de bateau, puis croissait progressivement pour atteindre 1m,30 contre les culées.

MM. les ingénieurs de la compagnie se sont livrés à une étude détaillée des conditions dans lesquelles se trouverait la stabilité de la voûte après son rescindement. Ils ont notamment appliqué à l'un des anneaux intermédiaires en pierre de taille la méthode de M. Durand-Claye :

a — en supposant que les anneaux de béton voisins lui transmettent les efforts qui leur seraient directement appliqués;

b — en admettant par suite qu'il ait à supporter :

1° son poids et celui des deux demi-anneaux de béton contigus;

2° le poids de la voie sur une largeur de 2 mètres;

3° la surcharge d'épreuve de 5.000 kilogrammes par mètre courant de voie déterminée par la décision ministérielle du 9 juillet 1877 pour les ponts métalliques sous rails;

c — en fixant d'ailleurs la résistance limite de la maçonnerie à 40 kilogrammes.

Ce dernier chiffre n'avait rien d'exagéré pour de bons mortiers de ciment et sable siliceux; il ne représentait pour la pierre de taille d'Euville que le $\frac{1}{7}$ environ de la résistance moyenne constatée par M. l'ingénieur en chef Michelot. (*Annales des ponts et chaussées* 1870, 2e semestre, page 323.)

L'épure reproduitepar la Pl. 12, *fig*. 8, rend compte des résultats de ces recherches ; elle donne pour le joint de clef, pour celui des naissances et pour un joint intermédiaire :

— les courbes $c\omega$, $d\omega$, limitant les pressions résultantes compatibles avec un travail convenable des matériaux;

— les courbes $\alpha\gamma$, $\beta\delta$, limitant les pressions compatibles avec l'équilibre de la voûte ;

— enfin les courbes RP, QS limitant les pressions compatibles à la fois avec un travail convenable et av l'équilibre des matériaux.

L'étendue de la surface RPQS, qui sert en quelque so de coëfficient de stabilité, montre que les conditi théoriques d'équilibre de la voûte rescindée pouvai varier dans des limites assez larges tout en ne développ dans les maçonneries que des pressions égales ou inférieure à 40 kilogrammes par centimètre carré et qu'elles étai de nature à offrir toute sécurité.

Ces résultats ne devaient naturellement être assurés q si les joints des anneaux en pierre de taille étaient bie dressés et bien garnis.

Mais le soin extrême apporté à l'exécution des ouvrag d'art du canal près de Nancy et avec lequel avait dû ê traité un ouvrage exceptionnel comme le pont de Cha pigneules, ne permettait guère de douter qu'il en fût ains

Propositions tendant à un essai dans ce sens et déci ministérielle approbative. — Confiants dans la réussit l'opération, les ingénieurs l'ont proposée à l'administrati supérieure, mais se sont bornés toutefois à sollic d'abord l'autorisation d'en faire l'essai à la partie du p correspondant au chemin de défruitement, de manière ne pas compromettre l'exploitation du chemin de fer c cas d'insuccès. Si cet essai réussissait pleinement, le tra vail devait être poursuivi sur le surplus de l'arche ; si, a contraire et par impossible, il échouait, l'administrati

en était quitte pour une perte d'argent minime relativement à l'intérêt de l'expérience.

M. le ministre ayant rendu une décision conforme à leur proposition, le travail a été effectué dans les conditions suivantes.

B. — *Exécution de l'essai préliminaire.*

Cintrage de la voûte. — On a commencé par mettre sur cintres la partie de l'arche sur laquelle devait être fait l'essai, et qui comprenait les deux premiers anneaux en pierre de taille et les deux premiers anneaux en béton du côté de la Marne.

A cet effet, on a employé six fermes présentant d'axe en axe les espacements suivants :

		mèt.
a	— au droit du second anneau de pierre de taille qui devait être le plus éprouvé	0,50
b	— près de la tête	0,80
c	— en moyenne	0,68

Chacune de ces fermes reposait sur quatre appuis, dont deux accolés aux culées et les deux autres placés au sommet des murs de cuvette, et comportait :

1° entre les appuis intermédiaires, un vau en fer à I composé, obtenu en renforçant et allongeant convenablement les pièces analogues antérieurement employées au pont de Fontenoy (voir Pl. 12, *fig.* 5 et 6) ;

2° aux extrémités, des vaux en bois solidement buttés contre les culées.

Les diverses fermes étaient réunies par des boulons d'entretoisement avec gaînes en fonte s'opposant tout à la fois à leur rapprochement et à leur écartement ; les palées étaient moisées par des croix de Saint-André.

Les vaux portaient des couchis calés au moyen de coins et contre-coins.

Des estacades protégeaient les palées intermédiaires contre le choc des bateaux.

La hauteur libre ménagée sous les cintres pour la navigation s'élevait à 4^{m},70, grâce à l'emploi du fer : on a pu ainsi, en réglant la tenue du bief à 1^{m},70, faire passer sans gêne tous les bateaux chargés ; seuls, quelques bateaux vides à comble élevé ont dû prendre de l'eau comme lest.

Les dimensions des vaux en fer avaient d'ailleurs été calculées de telle sorte que le travail du métal ne dépassât pas 6 kilog, par millimètre carré, en admettant :

1° que les fermes placées sous le second anneau en pierre de taille auraient, le cas échéant, à supporter, indépendamment du poids permanent, toute la surcharge d'épreuve ;

2° qu'au contraire, les fermes voisines de la tête n'auraient à résister qu'à la charge permanente.

L'inégalité des espacements compensait l'inégalité des charges.

Installation d'un appareil pour mesurer les trépidations et les tassements de la voûte. — En même temps que l'on faisait le cintrage de la zone à recouper, on adaptait à la tête du pont, côté de la Marne, un appareil destiné à mesurer avec une grande précision les tassements et les trépidations de l'ouvrage.

Cet appareil se composait :

— d'un long balancier en fer à treillis qui était relié à l'une de ses extrémités à un goujon en fer solidement scellé lui-même dans la clef de l'anneau de tête de la voûte, et qui pouvait tourner autour d'un axe de rotation placé en son milieu dans le mur en retour d'amont de la culée gauche ;

— d'une aiguille en fer qui était mobile autour d'un pivot correspondant au $\frac{1}{10}$ de sa longueur et scellé normalement à la culée, et dont l'extrémité pouvait osciller contre une règle ;

— enfin d'un levier articulé mettant en relation le balancier et l'aiguille.

Les mouvements de la clef de voûte se transmettaient à la pointe de l'aiguille en se multipliant par 20.

Première épreuve avant la recoupe. — Ces installations terminées, on a, avant de caler les couchis, fait passer par une voie provisoire, sur la partie de l'arche à rescinder, un train de marchandises remorqué par une machine Engerth à quatre essieux couplés pesant avec son tender 70 tonnes.

L'aiguille n'a, durant cette épreuve, accusé aucune trépidation dans les maçonneries.

Recoupe partielle. — On a ensuite calé les couchis et recoupé la voûte à l'aide du pic et du fleuret, d'une part sur la largeur de la clef et des deux contre-clefs, et, d'autre part, de chaque côté, dans l'étendue des deux voussoirs au droit desquels la courbe des pressions se rapprochait le plus du nouvel intrados.

Ce travail a duré trois semaines environ ; il a été exécuté au moyen d'échafaudages volants portés sur une embarcation de service que l'on devait garer à l'approche des bateaux.

Il a d'ailleurs prouvé que la pierre de taille des arceaux était de la meilleure qualité ; — que les joints en étaient parfaitement pleins et ne présentaient aucun démaigrissement ; — enfin que le béton était extrêmement dur.

Deuxième série d'épreuves. — Puis on a décalé les couchis et procédé à une épreuve par poids mort en faisant stationner pendant cinq heures sur la voie provisoire une Engerth et son tender du poids de 70 tonnes. — Cette machine constituait, avec les portions de voûte non recoupées en dessous du nouvel intrados, une surcharge de plus de 7.000 kilog. par mètre courant de voie.

L'aiguille s'est abaissée de $0^m,014$ et a ainsi révélé un tassement total de $0^m,0007$, qui a acquis son maximum d'amplitude en une heure environ ; le retrait de la sur-

charge produisait d'ailleurs un relèvement de $0^m,0005$ à l'extrémité de l'aiguille, et par suite de $\frac{1}{10}$ de millimètre à la clef.

Des décollements capillaires se sont produits vers l'extrados au second joint à partir des naissances, et vers l'intrados au deuxième joint à partir de la clef, du côté de l'angle obtus, dans le bandeau de tête, sous l'action du tassement ci-dessus indiqué.

Le lendemain, on a procédé à une épreuve par poids roulant en faisant passer en vitesse, à diverses reprises, la machine Engerth employée aux épreuves par poids mort; chaque passage a provoqué un abaissement de $\frac{1}{2}$ millimètre à l'extrémité de l'aiguille, et par suite de $\frac{1}{10}$ de millimètre à la clef de la voûte. Cet abaissement s'effaçait d'ailleurs, dès que la locomotive avait franchi l'ouvrage.

Achèvement de la recoupe. — Ces deux épreuves terminées, on a achevé en trois semaines le rescindement de la portion de l'arche sur laquelle portait l'essai. On a, du reste, fait cette opération sans soutenir les maçonneries; le succès des premières expériences et le soulagement qui devait être apporté à la voûte par l'enlèvement des pendentifs réservés provisoirement pendant la recoupe partielle rendaient cette précaution inutile et permettaient de faciliter singulièrement le travail en ne s'astreignant pas à la prendre.

Troisième série d'épreuves. — Le rescindement achevé, on a placé sous la nouvelle douelle, et à $0^m,01$ en contre-bas, un cours de couchis reposant sur le cours inférieur par l'intermédiaire de blochets et destiné à donner toute sécurité pendant les épreuves définitives auxquelles il y avait lieu de soumettre l'anneau recoupé.

Ces épreuves ont consisté, comme celles qui avaient suivi le rescindement partiel :

1° à faire stationner cinq heures une Engerth et son tender sur la voûte;

2° à l'y faire passer ensuite en vitesse.

Elles n'ont provoqué aucun mouvement nouveau (*) et ont prouvé que l'anneau recoupé avait pris une nouvelle position d'équilibre stable aussitôt après l'exécution des entailles de la clef et des reins.

Succès de l'essai. — Ainsi, l'essai préliminaire de rescindement pouvait être considéré comme ayant donné des résultats satisfaisants.

C. — *Continuation et achèvement de la recoupe.*

a. *Zone correspondant à la voie montante ; déviation des voies.* — En présence de ces résultats, il ne pouvait y avoir de doute sur l'opportunité de poursuivre l'opération dans le surplus de l'étendue de la voûte.

L'autorisation nécessaire ayant été accordée par décision ministérielle du 6 mars 1879, le travail a été repris et exécuté successivement au droit de la voie montante (Paris à Strasbourg) et au droit de la voie descendante (Strasbourg à Paris); il a été dirigé comme il suit pour la première de ces deux périodes de l'opération.

Pour ne pas travailler sous une voie en exploitation, on a commencé par riper les rails de manière à amener la voie descendante sur la zone déjà rescindée et la voie montante à l'emplacement normal de la voie descendante.

Recoupe. — Puis on a procédé à la recoupe des deux premiers anneaux en pierre de taille et des deux premiers anneaux en béton du côté du Rhin.

On a jugé inutile de placer les cintres sous la douelle, et on s'est borné à tout préparer pour pouvoir les y disposer au moindre danger. On a d'ailleurs organisé la navi-

(*) C'est à peine si les passages en vitesse ont produit à l'extrémité de l'aiguille un frémissement sensiblement inférieur à celui qui s'était manifesté dans les mêmes circonstances lors de la deuxième série d'épreuves.]

gation par rames au passage du pont : on a pu ainsi faciliter et hâter considérablement le travail en y employant un assez grand nombre d'ouvriers à la fois, en supprimant la gêne que la présence des cintres leur eût inévitablement imposée et en permettant à l'atelier de travailler plusieurs heures de suite sans avoir à déplacer son échafaudage flottant.

La plupart des voussoirs en pierre de taille ont été découpés d'un seul coup au moyen de coins. Le béton a été bréché au ciseau; comme il était disloqué à sa partie inférieure, on l'a revêtu à l'intrados par une voûte en briques de champ appareillée comme les anneaux en pierre dans le système héliçoïdal.

Épreuves. — Une fois le rescindement terminé dans la zone correspondant à la voie montante, on a placé les cintres par-dessous, disposé l'aiguille sur la tête côté du Rhin, puis procédé à deux épreuves consistant :

— l'une, dans le stationnement d'une machine Engerth et son tender pendant quatre heures;

— l'autre, dans le passage réitéré de cette machine avec des vitesses de 20 à 40 kilomètres.

La première de ces épreuves n'a produit aucun mouvement appréciable.

La seconde a déterminé des frémissements dont l'amplitude a varié, suivant les vitesses de la machine, de [illegible] à [illegible] et a été en moyenne de $\frac{1}{15}$ environ de millimètre; le maximum correspondait toujours au passage du centre de gravité de la machine sur les reins de la voûte.

b. *Zone correspondant à la voie descendante.* — Ces épreuves ayant ainsi réussi, on a définitivement replacé la voie montante à son emplacement normal, en laissant encore la voie descendante au droit du chemin latéral.

On a rescindé la zone médiane du pont en opérant comme pour la zone extrême, côté du Rhin.

On l'a ensuite mise sur cintres, et on a rétabli par-des-

sus la voie descendante et la circulation des trains dans la direction de Strasbourg vers Paris, mais sans procéder à des épreuves préalables que le succès des expériences antérieures sur les deux autres zones rendait absolument inutiles.

Enfin on a enlevé les cintres.

c. *Ragrément ; enduit sous le béton.* — On a d'ailleurs ragréé les parements et fait un enduit en ciment de Vassy sous les anneaux en béton.

D. — *Dépense.*

La dépense totale a été de 24.000 francs environ.

Elle ressort par suite à 107 francs par mètre carré de projection horizontale de la douelle.

De même que pour les ponts de Fontenoy et de Liverdun, et pour les mêmes principes, le projet a été fait et les travaux ont été exécutés par la compagnie de l'Est pour le compte du service de la navigation et d'accord avec elle.

§ 4. — Observations sur la nature des travaux exécutés pour l'exhaussement du mouillage et sur la dépense kilométrique afférente à cette opération.

Observations sur la nature des travaux de relèvement du mouillage. — Nous nous bornerons aux exemples qui viennent d'être donnés pour l'exhaussement des ponts.

Cette opération, beaucoup plus délicate qu'un travail neuf, où l'ingénieur a ses coudées franches, doit être dirigée comme celle du relèvement de la cuvette, de manière :

— à ne pas interrompre et à gêner aussi peu que possible la navigation ;

— à ne pas intercepter non plus les communications sur les voies desservies par les ouvrages.

Elle comporte, pour ainsi dire dans chaque cas particulier, une solution spéciale mieux appropriée que toute

autre au but que l'on doit poursuivre : elle exige, par conséquent, des études attentives et minutieuses.

Il faut d'ailleurs l'élaborer et la préparer par avance dans ses moindres détails, afin de ne laisser aucune part à l'imprévu et d'éviter tout tâtonnement en cours d'exécution; car la moindre erreur à cet égard peut se traduire par des pertes sérieuses pour l'industrie et par des plaintes, parfaitement justifiées d'ailleurs, de la part des intéressés.

Sans écarter les considérations de dépense, il convient cependant de ne pas y subordonner entièrement les dispositions des projets et l'organisation des chantiers, et de savoir renoncer aux économies apparentes qui auraient pour conséquence finale un dommage réel pour le pays.

Il faut enfin ne confier, autant que possible, les travaux qu'à des entrepreneurs sûrs, et leur surveillance qu'à des agents expérimentés et dévoués; cette dernière condition est heureusement facile à remplir, grâce au zèle et à l'intelligence du corps des conducteurs des ponts et chaussées.

La dépense du relèvement des passages supérieurs, faite d'après ces principes, peut être estimée à 6.500 francs environ par kilomètre, ce qui porte la dépense totale de l'exhaussement du mouillage à 15.000 francs, non compris les travaux d'alimentation complémentaire que nous allons maintenant aborder.

TROISIÈME PARTIE.

ALIMENTATION COMPLÉMENTAIRE.

CHAPITRE V.

INSUFFISANCE DE L'ALIMENTATION.

---

§ 1er. — Renseignements sur l'alimentation du canal de la Marne au Rhin.

Limites des renseignements qui seront fournis dans le présent mémoire. — Il ne saurait entrer dans le cadre du présent mémoire de donner une description détaillée des travaux afférents à l'alimentation complémentaire du canal de la Marne au Rhin.

La matière est en effet trop vaste pour être traitée à titre pour ainsi dire accessoire. D'ailleurs, les ouvrages que nous avons eu à étudier et à exécuter, quoique très avancés, ne sont point encore tous terminés et nécessitent par leur importance une publication spéciale dont l'heure n'est pas venue. Enfin ils ont eu pour objet non seulement de pourvoir au supplément de dépense produit par l'exhaussement du mouillage, mais encore d'améliorer une situation reconnue défectueuse sur certains points avant qu'il fût question de ce relèvement et de créer les ressources nécessaires à l'embranchement de la Meuse du canal de l'Est.

Nous nous contenterons donc actuellement de faire connaître les bases et les traits généraux du système qui a été adopté.

Points de partage. — Comme nous l'avons dit antérieurement dans un mémoire sur le réservoir de Paroy, admis

à l'insertion dans les *Annales*, le canal de la Marne au Rhin s'étend de Vitry-le-François à Strasbourg; sa longueur totale est de 315 kilomètres en nombre rond.

Il comporte deux biefs de partage, savoir :

— l'un, dit *de Mauvages*, au passage du bassin de la Marne à celui de la Meuse;

— l'autre, dit *des Vosges*, au passage du bassin de la Meurthe à celui du Rhin.

Au point de partage de Mauvages se rattachent :

— d'une part, le versant de l'Ornain, de la Saulx et de *la Marne*, qui prend son origine à Vitry-le-François;

— d'autre part, le versant de la Méholle, de *la Meuse* et de *la Moselle*, qui se termine à Nancy.

Au point de partage des Vosges se rattachent :

— d'une part, le versant du Sanon et de *la Meurthe*, qui prend son origine à Nancy ;

— d'autre part, celui de la Zorn et *du Rhin*, qui se termine à Strasbourg.

Embranchements. — Sur l'artère principale viennent se greffer :

1° à Vitry-le-François, le canal de Vitry à Saint-Dizier;

2° à Demange-aux-Eaux, l'embranchement de Houdelaincourt, qui est de niveau avec le bief de partage de Mauvages;

3° à Troussey, la branche de la Meuse du canal de l'Est ;

4° à Toul, la rigole navigable de la Moselle se reliant à la haute Moselle canalisée;

5° à Frouard, la Moselle canalisée;

6° à Jarville, près Nancy, la rigole flottable dite *de Jarville*, mettant la Meurthe en communication avec le canal;

7° à Laneuveville, la branche *de Nancy* du canal de l'Est;

8° à Gondrexange, le canal des Houillères de la Sarre;

9° à Hesse, la rigole flottable de la haute Sarre.

De ces divers embranchements, le troisième, le cinième et le huitième seuls empruntent une partie de leurs ux d'alimentation au canal de la Marne au Rhin.

Mode d'alimentation. — Le versant de la Marne, le point partage de Mauvages et le versant de la Meuse et de la selle en amont de Toul, y compris le bief de Pagny-sur-use, qui constitue un bief de partage secondaire pour le nal de l'Est, ainsi que les 2 premiers kilomètres de la scente en Meuse de cette voie navigable, ont été alimntés jusqu'à ce jour par des prises d'eau dans la Saulx, rnain et la Méholle, et par les sources de Vacon, tributres de ce dernier cours d'eau.

Le versant de la Moselle, entre Toul et Nancy, emunte ses ressources à la Moselle.

Le versant de la Meurthe, entre Nancy et Dombasle, les ise dans la Meurthe.

La section de ce versant, située entre Dombasle et Réchicourt, est alimentée :

— par les eaux venant du bief de partage des Vosges,

— et par la réserve de Réchicourt, dont la capacité est e 4 millions de mètres cubes, et qui est remplie tant au yen du produit de son bassin que par les eaux de la rre.

La dernière section du même versant comprise entre chicourt et le bief de partage des Vosges, ce bief, le rsant du Rhin jusqu'à Hoffmühl, enfin le canal des uillères de la Sarre jusqu'à Mittersheim, c'est-à-dire ur 20 kilomètres, tirent leur alimentation :

— de la Sarre,

— et de la réserve de Gondrexange, dont la capacité ile est de 6.200.000 mètres cubes.

Le surplus du versant du Rhin reçoit ses eaux de la orn.

§ 2. — Insuffisance des ressources constatée dès avant 1870 et études faites pour y remédier.

Insuffisance des ressources constatée dès avant la guerre de 1870. — Les ressources dont on dispose ainsi :

a — entre Vitry-le-François et Saint-Joire, sur le versant de la Marne;

b — entre Toul, sur le versant de la Moselle, et Dombasle, sur le versant de la Meurthe;

c — entre Hoffmühl et Strasbourg, sur le versant du Rhin,

ont toujours été suffisantes pour assurer la tenue d'eau de 1^m^,60; elles l'étaient même pour le relèvement du mouillage à 2 mètres, qui a été déclaré d'utilité publique :

1° de Void à Jarville, par la loi du 24 mars 1874, relative au canal de l'Est;

2° de Vitry à Void et de Jarville à la nouvelle frontière, par décret du 8 novembre 1877, et qui est en partie réalisé.

Mais il en était autrement de Saint-Joire à Toul et de Dombasle à Hoffmühl.

Solution étudiée à cette époque pour y remédier. — L'insuffisance dans ces deux dernières sections préoccupait depuis longtemps les ingénieurs, qui, dès avant 1870, avaient mis à l'étude des projets d'alimentation complémentaire, dont les plus essentiels comportaient :

— pour le bief de partage de Mauvages et les parties supérieures des versants contigus, une prise d'eau dans la Meuse;

— pour le point de partage des Vosges, un accroissement considérable de la réserve de Gondrexange et l'établissement d'une rigole destinée à y jeter et à y emmagasiner les crues de la Sarre.

Nouvelle direction donnée aux études par les événements de 1870-1871 et la construction du canal de l'Est. — Tel

tait la situation lorsque sont survenus les funestes événements de 1870-1871.

Ces événements ont arraché à la France, pour les faire passer entre les mains de l'Allemagne, la partie du versant de la Meurthe située au delà de Xures, le bief des Vosges et le versant du Rhin, c'est-à-dire un tronçon de 104 kilomètres de longueur et, avec ce tronçon, le réservoir de Réchicourt, celui de Gondrexange, la Sarre et la Zorn.

Ils ont d'ailleurs eu pour conséquence la construction du grand canal de l'Est et la réalisation de l'exhaussement à 2 mètres du mouillage du canal de la Marne au Rhin.

Les éléments du problème ont été ainsi profondément modifiés.

Les ingénieurs ont dû en conséquence reprendre leurs études sur de nouvelles bases et élaborer de nouveaux projets.

CHAPITRE VI.

ÉVALUATION DES RESSOURCES COMPLÉMENTAIRES A CRÉER ET SYSTÈME ADOPTÉ POUR Y POURVOIR.

§ 1er. — Évaluation des ressources à créer.

1. — *Point de partage de Mauvages et versants s'y rattachant. Déficit entre Saint-Joire et Void.* — Les besoins auxquels il y avait lieu de pourvoir se chiffraient comme suit.

La consommation normale était de 50.000 mètres cubes par 24 heures pour le mouillage de 1m,60, savoir :

	mèt. c.
Éclusées (30 éclusées environ sur chaque versant). . .	35.000
Filtrations (sur 23 kilomètres).	15.000
Total pareil.	50.000

La Méholle tarissant complètement en amont de Vacon à l'époque des sécheresses et le débit de l'Ornain descendant

à 25.000 mètres cubes, le déficit était de 25.000 mètres cubes, et les ingénieurs en étaient réduits à organiser une navigation par convois en accumulant successivement toutes les ressources soit sur le bief de partage, soit sur celui des deux versants que les trains avaient à parcourir; mais il en résultait des retards désastreux qui provoquaient depuis plusieurs années les plaintes les plus vives de la part de l'industrie et qui étaient de nature à jeter le discrédit sur les transports par eau, s'ils avaient dû se produire longtemps encore.

Le relèvement du mouillage à 2 mètres devait accroître les pertes de 15.000 mètres cubes environ et porter le déficit à 40.000 mètres cubes par 24 heures.

Il résultait d'ailleurs des calculs minutieux faits par M. l'ingénieur en chef Volmerange que la période d'insuffisance des ressources pourrait atteindre une durée de six mois et le déficit total s'élever dans les années de sécheresse exceptionnelle à 4.600.000 mètres cubes.

Déficit entre Void et Toul. — Dans l'étendue du bief de Void et de la descente de l'Ingressin jusqu'à Toul (28 kilomètres) la consommation afférente aux éclusées locales et aux pertes était de 30.000 mètres cubes, chiffre auquel descend précisément en été le produit des sources de Vacon de telle sorte que, pour le mouillage de 1^m,60, la balance se faisait exactement entre les ressources et les dépenses.

Mais l'exhaussement du plan d'eau exigeait un supplément de ressources de 10.000 mètres cubes environ par jour.

La durée de la période d'insuffisance pouvait s'élever à cinq mois par an et le déficit total atteindre 1.600.000 mètres cubes environ, en nombre rond.

Alimentation de la branche de la Meuse du canal de l'Est. — Le canal de la Meuse emprunte au bief de Void, dont il se détache à Troussey :

1° le volume nécessaire aux éclusées;

2° le volume nécessaire à la réparation des pertes par

filtration entre Troussey et un point voisin de la station du chemin de fer à Sorcy, point en aval duquel le canal est alimenté par des prises d'eau directes dans la Meuse.

En évaluant la circulation sur le canal à 2.000 tonnes en moyenne et à 2.500 tonnes au maximum par 24 heures — les pertes à $1^{m^3},25$ par mètre courant — enfin la dépense d'eau par tonne pour le passage aux écluses à $5^{m^3},3$, la consommation a été estimée à 15.000 mètres cubes par 24 heures.

Il peut y être pourvu pendant la saison des pluies par l'excédent des ressources du canal de la Marne au Rhin; mais, pendant la saison des sécheresses, il était indispensable d'avoir recours à de nouvelles ressources.

Les emprunts à ces ressources nouvelles pourront durer cinq mois et s'élever à 2.200.000 mètres cubes.

A l'aval de Sorcy, le canal latéral et les dérivations de la Meuse canalisée consomment pour leurs éclusées locales et pour la réparation de leurs pertes par filtrations, des eaux qui doivent être empruntées à la rivière, dont le débit d'étiage se trouvera ainsi réduit au détriment des usines et des propriétaires riverains sur une partie de son cours.

La canalisation de la Meuse aura en outre pour conséquence d'imposer en étiage à un certain nombre de moulins une réduction de chute et de force motrice.

Il y avait donc un intérêt sérieux à pouvoir fournir au débit de la rivière en basses eaux un appoint suffisant, d'une part pour couvrir la consommation des dérivations, et d'autre part pour compenser la diminution de la chute motrice des usines.

Le volume d'eau nécessaire à cet effet a été évalué à 1.200.000 mètres cubes par année.

Récapitulation pour les deux canaux. — Les ressources à créer pour l'alimentation des deux canaux pouvaient en résumé s'évaluer comme il suit.

Le volume maximum à fournir par 24 heures au bief de

Void, tant pour l'alimentation complémentaire du canal de la Marne au Rhin entre Saint-Joire et Toul que pour celle du canal de la Meuse entre Troussey et Sorcy, était de 65.000 mètres cubes, savoir :

		mèt. c.	mèt. c.
Canal de la Marne au Rhin.	de St-Joire à Void (25 kilom.).	40.000	50.000
	de Void à Toul (25 kilom.). .	10.000	
Canal de la Meuse.	de Troussey à Sorcy (1^{k},5).		15.000
	Total pareil.		65.000

Le déficit total maximum était par année :

	mèt. c.
— pour la section du canal de la Marne au Rhin comprise entre Saint-Joire et Void, de.	4.600.090
— pour la section du canal de la Marne au Rhin comprise entre Void et Toul, de.	1.600.000
— pour le canal de la Meuse entre Troussey et Sorcy, de.	2.200.000
Total.	8.400.000

Toutefois comme la période d'insuffisance du débit de l'Ornain ne concordait pas avec celle des sources de Vacon et que ces sources pouvaient fournir à certaines époques un excédent susceptible d'être refoulé au bief de Mauvages et de combler partiellement le déficit de la prise d'eau de Houdelaincourt, le maximum des ressources à créer était fixé à 8.000.000 de mètres cubes seulement, y compris les 1.200.000 mètres cubes d'appoint à fournir à la Meuse.

Les besoins se chiffraient donc en définitive :

	mèt. c.
— par année, à un cube maximum de.	8.000.000
— par vingt-quatre heures, à un cube maximum de. .	65.000

correspondant à un débit de 750 litres par seconde, volume que les ingénieurs ont toutefois porté à 800 litres pour tenir compte de l'inégale répartition de la consommation entre les heures de jour et les heures de nuit.

3B — *Versant de la Meurthe entre Dombasle et la nouvelle*

frontière. — Pour la section de Dombasle à la nouvelle frontière allemande les besoins étaient évalués :

— à 5.800 mètres cubes par 24 heures;

— à 2.100.000 mètres cubes par année.

§ 2. — Système adopté pour créer les ressources reconnues nécessaires.

Les combinaisons adoptées par l'administration supérieure sont les suivantes :

Bief de partage de Mauvages et versants qui en dépendent. — Des usines hydrauliques de 850 chevaux de force brute totale en nombre rond sont installées près de Toul sur la Moselle pour puiser dans cette rivière, en utilisant la chute disponible de trois barrages à aiguilles, et refouler à quarante mètres de hauteur de 650 à 900 litres par seconde qui seront recueillis dans une rigole destinée à les jeter dans le grand bief de Pagny-sur-Meuse.

Un réservoir sera en outre établi dans le bassin de la haute Meuse; les eaux de ce réservoir seront lancées dans la Meuse et reprises par des machines à vapeur, au premier point de contact de cette rivière et du canal près de Pagny.

Une partie des eaux ainsi amenées dans le bief de Pagny servira directement à alimenter ce bief, la descente de Foug à Toul et celle du canal de la Meuse.

Le surplus sera repris à Vacon par des pompes à vapeur de 250 chevaux de force utile et jeté par une rigole dans le bief de Mauvages pour compléter l'alimentation de ce point de partage et des versants voisins entre Saint-Joire et Vacon.

Versant de la Meurthe entre Dombasle et la nouvelle frontière. — L'Allemagne s'étant emparée des ressources alimentaires du versant de la Meurthe au delà de Dombasle et ne s'étant engagée par la convention internationale des 23 avril-19 juin 1873 qu'à fournir l'eau nécessaire pour

le maintien du mouillage ancien de $1^m,60$, il y est pourvu par la construction du réservoir secondaire de Paroy dont le double objet est :

— de fournir l'appoint indispensable pour l'exhaussement de la tenue d'eau à 2 mètres ;

— d'assurer l'alimentation et le maintien des relations entre le puissant groupe industriel du Sanon et la France pendant les chômages allemands.

Grâce à ces travaux considérables dont l'importance se justifie par le développement incessant de l'industrie dans la région de l'Est (*) et du trafic du canal de la Marne au Rhin (**), il sera satisfait dans la mesure la plus large non seulement aux besoins du moment, mais encore à ceux de l'avenir pour de longues années.

§ 3. — Dépense.

Dépense totale. — La dépense totale que comportent les travaux ci-dessus énumérés est de 4.713.000 francs, savoir :

	fr.
Machines et rigole de Vacon.	1.163.000
Machines et rigole de la Moselle.	1.500.000
Réservoir de la haute Meuse.	1.500.000
Réservoir de Paroy.	550.000
Total.	4.713.000

Part de dépense afférente au relèvement. — La part de ces dépenses qui doit être imputée au compte de l'exhaussement du mouillage peut être estimée à 1.850.000 francs, savoir :

(*) Le département de Meurthe-et-Moselle est de beaucoup le premier de la France au point de vue de la production métallurgique.

(**) Le trafic du canal de la Marne au Rhin a atteint en 1877 600.000 tonnes et dépassera notablement ce chiffre après l'ouverture du canal de l'Est.

1° machines et rigole de Vacon, $\frac{3}{8}$ environ, le surplus étant exclusivement destiné à remédier à une insuffisance constatée depuis longtemps pendant les sécheresses, même pour le mouillage réduit de 1m,60 et à pourvoir à un accroissement des éclusées par suite du développement du trafic, ci. . . . fr. 425.000

2° machines et rigole de la Moselle et réservoir de la haute Meuse, $\frac{5}{13}$ environ, le surplus étant destiné à compléter des ressources déjà insuffisantes et à assurer en outre l'alimentation de la branche de la Meuse du canal de l'Est, ci. 1.150.000

3° réservoir de Paroy, $\frac{1}{2}$ environ, le surplus étant nécessité par l'augmentation du trafic local. 275.000

Total. 1.850.000

Dépense kilométrique. — C'est donc une dépense de 9.000 francs en nombre rond par kilomètre de canal.

CONCLUSIONS.

Tels sont les renseignements généraux qu'il nous paraît utile de donner sur l'exhaussement du mouillage du canal de la Marne au Rhin qui coûtera en définitive 24.000 francs par kilomètre.

Cette dépense qui ne correspond qu'à un intérêt annuel de 1.200 francs est minime relativement au bénéfice qu'elle procurera à l'industrie et au commerce.

En effet les bateaux dont le tirant d'eau total ne dépassait pas 1m,40 et dont le tirant d'eau utile, déduction faite de leur poids propre, atteignait à peine 1m,05, pourront désormais caler 1m,80 et comporteront par suite un déplacement utile de 1m,45, supérieur de près de $\frac{2}{5}$ à ce qu'il était autrefois.

Cette amélioration n'entraînera de plus-value notable, ni dans la traction qui continuera à se faire avec 2 chevaux, ni dans la construction et la location des bateaux dont les

bordages sont suffisamment élevés, ni même dans les frais accessoires, et l'on peut admettre, sans être loin de la vérité, que le prix réel du fret sera réduit de $\frac{1}{3}$, soit de $0^{f},006$ environ par kilomètre.

Le tonnage annuel du canal étant de 600.000 tonnes, l'économie kilométrique sera de 3,600 francs, c'est-à-dire d'une somme triple de la dépense; elle se partagera entre les entrepreneurs de transports et les industriels qui expédient ou reçoivent des marchandises par le canal.

Il en résultera d'ailleurs un accroissement notable de la fréquentation et des revenus indirects de l'État.

L'opération tournera donc à tous égards au profit de la richesse publique et l'on trouverait certainement peu de travaux susceptibles d'un tel résultat économique.

Nancy, le 17 octobre 1879.

ANNEXES.

NOTE I. — Élargissement de la tranchée de Lay-Saint-Remy. Mode d'exécution des travaux.

Le travail d'élargissement a été conduit comme il suit.

On a commencé par attaquer la partie supérieure des déblais pour la retrousser en cavalier, soit par un simple jet de pelle, soit par un transport en brouette à faible distance.

On a ensuite entamé la partie inférieure en poussant la fouille à peu près jusqu'au niveau du plafond, mais en ayant soin de ménager en avant un batardeau formé par le mur de cuvette et les terres situées immédiatement en arrière et de procéder par petites chambres en contre-bas de la retenue, de manière à empêcher les venues d'eau ou tout au moins à les localiser. — Le produit de cette deuxième attaque a été chargé en bateau pour être emmené à 10 kilomètres de distance moyenne et employé en élargissement et surtout en exhaussement des digues du canal, notamment dans le grand bief de la Meuse.

Enfin le surplus a été enlevé pendant les chômages d'hiver, mis en cavalier du côté du halage et en arrière de la chaussée et repris ultérieurement en partie, au moyen de bateaux, pour être transporté au lieu d'emploi (*).

L'opération a exigé deux campagnes; on a d'ailleurs naturellement débuté par la partie la plus basse, c'est-à-dire par l'extrémité

(*) On a employé pour l'élévation des déblais des monte-charge représentés par la Pl. 9, *fig.* 10 et 11. Ces appareils consistaient essentiellement en une potence verticale portant à sa partie supérieure deux poulies sur lesquelles passaient les deux brins d'une chaîne renvoyée ensuite dans le plan de la banquette de halage au moyen d'autres poulies. Les brins portaient alternativement, l'un une brouette vide et l'autre une brouette chargée; un cheval attelé à la chaîne et tirant tantôt vers la Marne, tantôt vers le Rhin, lui communiquait un mouvement de va et vient qui élevait les brouettes chargées et faisait descendre en même temps les brouettes vides.

Chacun de ces monte-charge pouvait élever à 9 mètres, en une journée de neuf heures, 600 brouettes contenant ensemble 20 mètres cubes; leur manœuvre exigeait un collier et deux manœuvres, dont l'un pour l'accrochage et l'autre pour le décrochage des brouettes; la dépense a été par suite de $0^{f},70$ par mètre cube.

côté de Marne, de manière à produire immédiatement le plus grand effet utile possible.

Les bateaux servant au transport des terres étaient chargés dans l'intervalle du passage de deux rames consécutives, ou en cas de besoin, remisés durant quelques minutes, soit dans le port de Lay-Saint-Remy, soit dans de petites gares préparées par avance durant un chômage au milieu même de la tranchée.

Note 2. — Ponts sur écluses à une voie de voiture. Indications sur les calculs de résistance des tabliers.

Les formules employées sont les suivantes.

En désignant par :

$2a$ la portée de la pièce à calculer,

p une charge uniformément répartie par mètre courant (poids permanent avec ou sans surcharge),

P une surcharge roulante concentrée en un point,

π id. id. portant en deux points,

$2d$ la distance des deux points d'application de cette dernière surcharge,

x la distance d'une section quelconque de la pièce à calculer à l'appui le plus voisin,

I le moment d'inertie de cette section par rapport à l'axe neutre,

n la demi-hauteur de cette section (supposée symétrique et homogène),

M le moment résistant correspondant,

X id. fléchissant id.

t le travail maximum du métal par unité de surface dans ladite section,

R la limite pratique du travail ou 6×10^6 kilog. par mètre carré.

I. *Moments de flexion.* — a. *Charge uniformément répartie.* — Les pièces étant supposées simplement placées sur leurs appuis, le moment de flexion X développé dans la section définie par l'abscisse x sous l'action d'une charge uniformément répartie est

$$X_p = \frac{px(2a - x)}{2}; \qquad (1)$$

son maximum correspond au milieu de la pièce et a pour valeur

$$X_p^m = \frac{pa^2}{2}. \qquad (2)$$

b. *Charge roulante concentrée en un point.* — Pour produire son effet maximum, la charge roulante concentrée en un point doit porter sur la section considérée; le moment correspondant est

$$X_{P}^{m} = \frac{Px(2a-x)}{2a}. \tag{3}$$

c. *Charge roulante portant en deux points.* — La charge roulante portant en deux points doit, pour développer l'effort maximum dans une section, occuper une position telle que l'un des points d'application coïncide avec la section considérée, l'autre se trouvant au delà par rapport à l'appui le plus voisin; le moment correspondant est

$$X_{\pi}^{m} = \frac{\pi x(2a-x-d)}{2a}. \tag{4}$$

d. *Charge uniformément répartie combinée avec une surcharge concentrée en un point.* — Le moment maximum a pour expression dans une section quelconque

$$X_{p+P}^{m} = \frac{(pa+P)(2a-x)x}{2a}. \tag{5}$$

Le maximum maximorum correspond au milieu de la pièce et a pour valeur

$$X_{p+P}^{M} = \frac{(pa+P)a}{2}. \tag{6}$$

e. *Charge uniformément répartie combinée avec une charge roulante portant en deux points.* — Le moment maximum a pour expression dans une section quelconque

$$X_{p+\pi}^{M} = x\,\frac{[pa(2a-x)+\pi(2a-x-d)]}{2a}. \tag{7}$$

Le maximum maximorum correspond à la section dont l'abscisse est

$$x = \frac{2pa^2+\pi(2a-d)}{2(\pi+pa)}, \tag{8}$$

et a pour valeur

$$X_{p+\pi}^{M} = \frac{[2pa+\pi(2a-d)]^2}{8a(\pi+pa)}. \tag{9}$$

II. *Moments résistants.* — Le moment résistant pratique d'une section est

$$M = \frac{RI}{n}. \qquad (10)$$

Ce moment doit satisfaire à la relation

$$M \geqq X. \qquad (11)$$

III. *Travail maximum du métal dans une section donnée.* — Le travail maximum du métal dans une section donnée a pour expression

$$t = R\frac{X}{M}. \qquad (12)$$

1° *Poutres maîtresses.* — L'épreuve la plus fatigante pour chacune des poutres maîtresses est celle du passage d'un véhicule à un essieu contre le trottoir correspondant.

On établit dans chaque cas particulier, par une simple décomposition de force, la fraction théorique du poids de ce véhicule qui se reporte sur la pièce et on la réduit de $\frac{1}{5}$ à $\frac{1}{6}$ pour tenir compte de la répartition des pressions par la chaussée et l'entretoisement.

Puis on applique les formules (5) et (6) et l'on construit la parabole figurative des moments maxima.

On en déduit la longueur de la tablette de renfort à adapter au sommet et à la base des poutres. Cette longueur varie de 2 à 3 mètres; elle est d'ailleurs naturellement symétrique par rapport à l'axe du pont.

2° *Longrines de rive.* — Le moment résistant à donner à ces pièces se déduit simplement de la formule (2).

3° *Entretoises.* — Comme pour les poutres-maîtresses, c'est le passage du véhicule à un essieu qui éprouve le plus fortement le métal de ces pièces.

On peut d'ailleurs supposer que, grâce à l'effet de l'empierrement et à la solidarité des diverses parties du tablier, lorsque l'essieu se trouve au droit d'une entretoise, il ne lui transmet directement que la moitié de son poids, le surplus étant réparti sur les traverses voisines.

La valeur de la surcharge π étant ainsi déterminée, il ne reste théoriquement qu'à appliquer la formule (9) pour connaître le moment d'inertie et le profil à adopter. Mais, en fait, cette formule supposerait l'une des deux roues placée sur le trottoir correspon-

dant; cette hypothèse étant inadmissible, il faut simplement admettre que le véhicule touche l'un des trottoirs, en déduire l'abscisse de la roue opposée à ce trottoir et calculer par la formule (7) le moment de flexion développé dans cette section.

Note 3. — Ponts métalliques à poutres droites en treillis substitués aux ponts suspendus. — Indications sur les calculs de résistance des tabliers.

L'épreuve la plus fatigante pour les poutres-maîtresses est celle du passage du véhicule à deux essieux contre le trottoir correspondant; on leur applique donc les formules (7), (8) et (9) de la note 2 et on construit les courbes de leurs moments de flexion maxima qui se composent de deux arcs de parabole symétriques par rapport à l'axe et ayant respectivement leur sommet, l'un à droite, l'autre à gauche de l'axe (Pl. 10, *fig.* 19).

En superposant à cette courbe la ligne brisée figurative des moments résistants (*), on est conduit à ajouter aux ailes des poutres tantôt une, tantôt deux tablettes de renfort, tant au sommet qu'à la base, sur des longueurs variant avec les surcharges.

Le travail maximum développé dans les entretoises répond au passage du véhicule à un essieu; il se calcule par la formule (6).

Quant au treillis de l'âme des poutres-maîtresses, il a en chaque point à résister à l'effort tranchant maximum qui est la dérivée du plus grand moment de flexion et qui a par suite pour valeur

$$F = \frac{2(pa+\pi)(a-x)-\pi d}{2a}. \qquad (13)$$

F décroît ainsi en allant des appuis vers les points où le moment fléchissant atteint son maximum maximorum et l'on pourrait par suite théoriquement, abstraction faite des convenances de la construction, faire varier la force du treillis dans la même proportion. Mais en fait et pour plus de simplicité, on lui attribue une résistante constante et des dimensions uniformes calculées d'après la valeur de l'effort tranchant sur les culées qui est

$$F_m = \frac{2pa^2+\pi(2a-d)}{2a}. \qquad (14)$$

La section à donner à chacune des lames s'en déduit conformé-

(*) Ces moments résistants sont calculés en négligeant le treillis pour compenser l'effet de l'affaiblissement par les rivures.

ment aux principes exposés par M. l'ingénieur en chef Bresse (dans son *Cours de mécanique appliquée*, tome I, page 425 et suivantes, édition de 1859) par la formule suivante, dans laquelle

α désigne l'angle des lames avec la verticale,

et n le nombre des lames rencontrées par une même verticale,

$$s \text{ (exprimé en millimètres carrés)} = \frac{F_m}{6n \cos\alpha}. \qquad (15)$$

Enfin les rivures de chacune des tables sur les cornières doivent présenter dans chaque partie des poutres et par unité de longueur, en désignant par H la hauteur de ces poutres, une somme de sections exprimée en millimètres carrés par

$$\Omega = \frac{P}{5H}. \qquad (16)$$

(Voir le *Traité de mécanique* de M. l'ingénieur en chef Collignon.)

Celles des couvre-joints doivent avoir une somme de sections de cisaillement supérieure de $\frac{3}{10}$ environ à la section du joint.

Note 4. — Pont des Tiercelins à Nancy. Indications sur les calculs de résistance du tablier.

Les formules sont les suivantes, en désignant par :

$2a$ l'ouverture des arcs,

f leur flèche,

ρ leur rayon,

2φ leur angle au centre,

h leur hauteur supposée constante,

Ω leur section,

r le rayon de giration de cette section par rapport à son axe neutre,

α l'angle formé par la verticale avec le rayon aboutissant au point d'application d'une force,

θ l'angle formé par la verticale avec le rayon aboutissant à un point quelconque de la fibre moyenne,

τ la dilatation du fer pour une variation de température déterminée,

Q la réaction horizontale des culées,

TT' leurs réactions verticales,

N la composante tangentielle à la fibre moyenne, en un point déterminé, de la résultante des forces agissant entre ce point et l'appui le plus voisin,

E le coefficient d'élasticité ou 2×10^{10},
I, P, π, X, R et t les mêmes quantités que dans la note II.

I. *Poussée.* — a. *Poids uniformément réparti.* — La poussée exprimée en fonction de a et p et de deux coefficients m et n, donnés eux-mêmes l'un en fonction de $\frac{2\varphi}{\varpi}$ et l'autre en fonction de ce rapport et de $\frac{r^2}{a^2}$, par deux tables insérées dans le *Traité de résistance des matériaux* de M. Bresse (page 249, 456 et 458) est

$$Q_p = mn2pa. \tag{17}$$

b. *Charge isolée* P. — La poussée produite par un poids P appliqué en un point de la fibre moyenne dont le rayon fait un angle α avec la verticale est en fonction du même coefficient n que ci-dessus et d'un coefficient μ variant avec $\frac{\alpha}{\varphi}$ et donné par les tables de M. Bresse (pages 233, 454 et 458)

$$Q_P = \mu n P. \tag{18}$$

Si l'arc avait à supporter plusieurs poids isolés, la poussée totale serait égale à la somme des poussées élémentaires dues à chacun des poids supposés isolés et aurait ainsi pour expression

$$Q_{\Sigma P} = n\Sigma\mu P. \tag{19}$$

c. *Dilatation.* — La poussée est en fonction de deux coefficients ν et λ variables avec φ et $\frac{r^2}{a^2}$ (tables de M. Bresse, pages 244, 456 et 457)

$$Q_\tau = \tau E\Omega \frac{r^2}{a^2} \frac{\nu}{1 + \lambda \frac{r^2}{a^2}}. \tag{20}$$

II. *Réaction verticale des culées.* — a. *Poids uniformément réparti.* — Les réactions verticales sont

$$T = T' = pa. \tag{21}$$

b. *Surcharge isolée* P.

$$T_P = P \frac{a + \rho \sin \alpha}{2a}. \tag{22}$$

$$T'_P = P \frac{a - \rho \sin \alpha}{2a}. \tag{23}$$

Si l'arc est soumis à plusieurs poids isolés, les réactions verticales correspondant à ces poids s'ajoutent et l'on a

$$T_{\Sigma P} = \frac{1}{2a}\Sigma P(a + \rho \sin\alpha). \qquad (24)$$

$$T'_{\Sigma P} = \frac{1}{2a}\Sigma P(a - \rho \sin\alpha). \qquad (25)$$

(α étant susceptible de prendre une valeur négative dans ces formules)

c. *Dilatation.*

$$T_\tau = T'_\tau = 0.$$

III. *Composante tangentielle* N. — **a.** *Poids uniformément réparti.* — La force N_p, en lui attribuant le signe + ou le signe — suivant qu'elle agit vers la culée voisine ou inversement est donnée par la formule suivante, pour un point de la fibre moyenne déterminée par l'angle au centre θ

$$N_p = -(Q_p \cos\theta + p\rho \sin^2\theta). \qquad (27)$$

b. *Charge isolée* P. — La force N_P est exprimée par les relations

$$N_P = -(Q_P \cos\theta + T_P \sin\theta) \qquad (28)$$

pour les points situés entre le point d'application de la force et la culée voisine, et

$$N_P = P \sin\theta - (Q_P \cos\theta + T_P \sin\theta) \qquad (29)$$

pour les points situés au delà.

La force tangentielle due à plusieurs surcharges isolées s'obtiendrait par le principe de la superposition des forces.

c. *Dilatation.*

$$N_\tau = -Q_\tau \cos\theta. \qquad (30)$$

IV. *Moment* X. — **a.** *Poids uniformément réparti.* — En attribuant au moment X_p le signe + ou le signe — suivant qu'il tend à produire une rotation dans le sens inverse des aiguilles d'une montre ou réciproquement, on a

$$X_p = -Q_p\rho(\cos\theta - \cos\varphi) + \frac{p\rho^2}{2}(\sin^2\varphi - \sin^2\theta). \qquad (31)$$

b. *Surcharge isolée.* — On a

$$X_P = -Q_P\rho(\cos\theta - \cos\varphi) + T_P\rho(\sin\varphi - \sin\theta) \qquad (32)$$

pour les points situés entre la force P et la culée voisine, et

$$\left. \begin{aligned} X_P = & -Q_P\rho(\cos\theta - \cos\varphi) + T_P\rho(\sin\varphi - \sin\theta) \\ & - P\rho(\sin\alpha - \sin\theta) \end{aligned} \right\} \qquad (33)$$

pour les points situés au delà.

c. *Dilatation.*

$$X_\tau = -Q_\tau\rho(\cos\theta - \cos\varphi). \qquad (34)$$

V. *Travail du métal.* — La résultante N tend, suivant qu'elle est positive ou négative, à produire une tension ou une compression ayant pour valeur absolue par unité de surface $\pm \frac{N}{\Omega}$.

Le moment X tend à provoquer :

1° à l'extrados, une tension ou une compression ayant pour valeur absolue par unité de surface $\mp \frac{Xh}{2r^2}\frac{1}{\Omega}$;

2° à l'intrados, une tension ou une compression égale ou de signe contraire.

Les efforts auxquels se trouve soumise une section quelconque ont par suite pour expression à l'extrados $\frac{1}{\Omega}\left(N - \frac{Xh}{2r^2}\right)$ et à l'intrados $\frac{1}{\Omega}\left(N + \frac{Xh}{2r^2}\right)$ et sont des tensions ou des compressions suivant que ces quantités sont > 0 ou < 0.

En désignant par N' et X' les valeurs absolues de N et X, abstraction faite du signe, l'effort maximum est

$$t_n = \frac{1}{\Omega}\left(N' + \frac{X'h}{2r^2}\right), \qquad (35)$$

il se développe à l'intrados si N et X sont de même signe et à l'extrados dans le cas contraire.

VI. *Flexion à la clef.* — a. *Poids uniformément réparti.* — On a, d'après M. Bresse, p. 267,

$$-\Delta f_p = 1,56\,\frac{p\rho^2}{E\Omega}\,\frac{1 + 0,0122\,\frac{f^4}{a^2r^2}}{1 + \frac{15}{18}\frac{r^2}{f^2}}, \qquad (36)$$

b. *Surcharges isolées.*— On a de même, d'après M. Bresse, p. 259,

$$-\Delta f_P = \int_0^{\varphi} \left[\frac{X(a - \rho\sin\theta)}{EI} - \frac{N\sin\theta}{E\Omega}\right]\rho\, d\theta. \qquad (37)$$

En appliquant ces formules, en supposant d'ailleurs le passage simultané de deux voitures à deux essieux de 16 tonnes et en évaluant enfin à 8.000 tonnes l'effort maximum concentré en un point d'un arc, nous avons trouvé :

1° *Pour la poussée.*	a. Poids uniformément réparti	(poids propre du tablier).	kilog. 33.750
		(surcharge).	13.350
	b. Surcharge roulante	(maximum).	14.750
2° *Pour la réaction verticale* . . .	a. Poids uniformément réparti	(poids propre du tablier).	17.200
		(surcharge).	6.800
	b. Surcharge roulante		5.000
3° *Pour le travail du métal* . . .	des résultats représentés graphiquement par les courbes de la Pl. 10.		
4° *Pour la flexion à la clef.*	a. Poids permanent		mét. 0,0035
	surcharge uniformément répartie		0,0014
	b. Surcharge roulante		0,002

Les courbes du travail (Pl. 10, *fig.* 23) indiquent :

— que les épreuves ne développent pas d'effort supérieur à 6 kilog. par millim. carré ;

— mais que la combinaison de ces épreuves avec une élévation de température de 35° relativement à la température de pose ferait théoriquement dépasser un peu cette limite.

Toutefois, en pratique, la solidarité des diverses pièces du tablier et la répartition des poids par la chaussée et les voûtes diminueraient certainement les efforts et les ramèneraient à un chiffre inférieur à 6 kilog.

Quant aux entretoises, elles ont été calculées comme pour les autres ponts pour le passage des véhicules à un essieu de 11 tonnes.

Les formules et les méthodes que nous venons de rapporter succinctement n'offrent rien de nouveau ; nous avons cependant jugé utile de montrer comment on avait appliqué dans l'espèce les principes exposés dans les cours de mécanique, ne fût-ce que pour éviter des recherches et abréger des calculs fort longs et fort pénibles, dans le cas où l'on voudrait se reporter à notre mémoire pour résoudre un problème analogue.

Il nous reste encore à observer que nous n'avons pas tenu compte de la solidarité du longeron avec l'arc; nous aurions ainsi été conduit à faire varier d'une section à l'autre le moment d'inertie et c'eût été une complication extrême et une perte de temps énorme qui n'aurait pas été justifiée en l'espèce.

Note 5. — Batterie casematée de Toul. Indications sur les calculs de résistance.

Les méthodes employées aux calculs des arcs ont été les suivantes en adoptant les notations de la note 4.

On a d'abord cherché la poussée par la formule (17), puis on a eu recours aux indications de la page 280 et suivantes du traité précité de M. Bresse, d'après lequel le travail maximum a pour valeur :

1° la plus grande de celles que donnent les formules.

$$t_1 = \frac{pa}{\Omega}\left[\frac{Q}{pa} + \frac{ah}{4r^2}\left(1 - \frac{2Q}{pa}\operatorname{tg}\frac{\varphi}{2}\right)\right] \qquad (38)$$

et

$$t_2 = \frac{pa}{\Omega}\left[\frac{1}{\sin\varphi} + \frac{ah}{r^2}\left(\frac{Q}{2pa} - \frac{1}{2}\cos\varphi\right)\right], \qquad (39)$$

lorsque la relation $Q > pa\cos\varphi\left(1 + \frac{2\sin\varphi}{2\sin\varphi + \frac{ah}{r^2}}\right)$ est satisfaite;

2° la plus grande valeur donnée par la formule (38) et par la suivante

$$t_3 = \frac{pa}{\Omega}\left(\frac{Q}{pa}\cos\varphi + \sin\varphi\right), \qquad (40)$$

quand l'inégalité précédente n'est pas satisfaite.

On a ainsi trouvé pour la poussée 21.000 kilog. et pour la pression maximum $1^k,75$.

Note 6. — Pont Saint-Georges à Nancy. Indications sur les calculs de résistance.

On a appliqué à cet ouvrage :

1° pour les arcs de rive, les formules (17), (36), (38), (39) et (40) ci-dessus;

2° pour les entretoises, les formules de la note 2.

On a trouvé ainsi, entre autres résultats, que la flexion théorique des arcs pourrait atteindre au maximum $0^m,009$; mais en fait elle est à peine sensible.

Note 7. — Pont de Liverdun. Indications sur les calculs de résistance.

Les formules à appliquer sont les suivantes.

1° *Surcharge roulante.* — Il est facile de vérifier :

— que, pour les points dont l'abscisse x est plus petite que le quart de l'ouverture $\frac{a}{2}$, la position la plus défavorable de la machine est celle qui place la locomotive au delà par rapport à l'appui le plus voisin, le quatrième essieu étant d'ailleurs sur la section considérée;

— qu'au contraire, pour les points dont l'abscisse est comprise entre $\frac{a}{2}$ et a, la position la plus défavorable est celle qui place deux essieux au delà, un autre sur la section considérée et le dernier en arrière.

Dans le premier cas, le momement fléchissant maximum a pour expression, en désignant par P le poids d'une roue et par d l'écartement des essieux

$$X_P^m = \frac{2P}{a}\left(2a - \frac{d}{2} - x\right)x \qquad (41)$$

(abstraction faite du tender qui ne modifierait cette formule que sur les cinq premiers centimètres et dans une mesure tout à fait minime et négligeable en pratique).

Dans le second cas, il est :

$$X_P^m = \frac{2P}{a}\left(2a - x - \frac{d}{2}\right)x - Pd. \qquad (42)$$

2° *Surcharge roulante et poids permanent.* — Les moments fléchissants sont :

de $x = 0$ à $x = \frac{a}{2}$, $$X_{p+P}^m = \frac{2P}{a}\left(2a - \frac{3d}{2} - x\right)x + \frac{px(2a-x)}{2} = \left(\frac{2P}{a} + \frac{p}{2}\right)x(2a-x) - \frac{3Pd}{a}x.$$

de $x = \frac{a}{2}$ à $x = a$, $$X_{p+P}^m = \frac{2P}{a}\left(2a - x - \frac{d}{2}\right)x - Pd + \frac{px(2a-x)}{2} = \left(\frac{2P}{a} + \frac{p}{2}\right)x(2a-x) - \frac{Pd}{a}(x+a).$$

Le maximum maximorum des moments de flexion correspond au point dont l'abscisse est

$$x = a - \frac{Pd}{4P + pa}, \qquad (45)$$

et a pour valeur

$$X^{M}_{p+P} = \frac{(4Pa + pa^2 - Pd)^2 - (4Pa + pa^2)\, 2Pd}{2a(4P + pa)}. \qquad (46)$$

La ligne représentative des moments de flexion se compose, de chaque côté de l'axe, de deux arcs de parabole qui se coupent au quart de la travée et dont le dernier a son sommet un peu à gauche de cet axe.

TABLE DES MATIÈRES.

	Pages.	Planches.
Exposé	249	

PREMIÈRE PARTIE.

RELÈVEMENT DE LA CUVETTE ET AMÉLIORATIONS S'Y RATTACHANT.

CHAPITRE Ier. — Relèvement de la cuvette.

	Pages.	Planches.
§ 1. — Augmentation du mouillage par l'exhaussement du plan d'eau	253	
§ 2. — Exhaussement des digues	255	9
§ 3. — Exhaussement des revêtements maçonnés	258	9
§ 4. — Exhaussement des plates-formes des ponts tournants	260	9
§ 5. — Exhaussement des portes d'écluses	264	
§ 6. — Exhaussement des déversoirs	265	
§ 7. — Étanchements	265	9
§ 8. — Mode d'exécution des travaux d'exhaussement de la cuvette	269	
§ 9. — Dépense totale afférente à l'exhaussement de la cuvette.	270	
§ 10. — Ordre d'exécution	270	

CHAPITRE II. — Améliorations réalisées a l'occasion de l'exhaussement de la cuvette.

	Pages.	Planches.
§ 1. — Situation du passage du col de Foug et nécessité de l'améliorer	272	
§ 2. — Capacité ancienne de transport et moyens de l'augmenter.	272	
§ 3. — Réduction de la durée de la traversée	277	9
§ 4. — Agrandissement de la gare d'évitement de Foug	280	

DEUXIÈME PARTIE.

RELÈVEMENT DES PASSAGES SUPÉRIEURS.

CHAPITRE III. — Relèvement des passages supérieurs pour voies de terre.

	Pages.	Planches.
§ 1. — Nécessité et limites du relèvement	281	
§ 2. — Ponts sur écluses à une voie de voiture (type)	282	10
§ 3. — Ponts sur écluses à grande largeur	287	10
§ 4. — Ponts suspendus	289	10 et 11
§ 5. — Ponts à deux travées en bois	300	
§ 6. — Ponts à travée unique en bois	300	11
§ 7. — Ponts en maçonnerie	301	
§ 8. — Ouvrages spéciaux	302	11
§ 9. — Exécution des ouvrages à l'entreprise	309	
§ 10. — Passerelle de Malzéville à Nancy	311	11

CHAPITRE IV. — Relèvement des passages supérieurs pour voies de fer et observations d'ensemble sur l'exhaussement du mouillage.

§ 1. — Pont de Fontenoy	314	11
§ 2. — Pont de Liverdun	317	12
§ 3. — Pont de Champigneules	319	12
§ 4. — Observations sur la nature des travaux exécutés pour l'exhaussement du mouillage et sur la dépense kilométrique afférente à cette opération	329	

TROISIÈME PARTIE.

ALIMENTATION COMPLÉMENTAIRE.

CHAPITRE V. — Insuffisance de l'alimentation.

§ 1. — Renseignements sur l'alimentation du canal de la Marne au Rhin	331	13
§ 2. — Insuffisance des ressources constatée dès avant 1870, et études faites pour y remédier	334	

CHAPITRE VI. — Évaluation des ressources complémentaires a créer et système adopté pour y pourvoir.

§ 1. — Évaluation des ressources à créer	335	
§ 2. — Système adopté pour créer les ressources reconnues nécessaires	339	13
§ 3. — Dépenses	340	
Conclusions	341	
Annexes	343	

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES.

CHRONIQUE.

Avril 1880.

N° 22

NOTE

SUR

LA CONSTRUCTION D'UN BATARDEAU EN BÉTON

POUR

LES TRAVAUX D'ACHÈVEMENT DU BASSIN NATIONAL, A MARSEILLE,

Par M. BERNARD, Ingénieur en chef des ponts et chaussées.

Nous croyons qu'il est bon de ne pas passer sous silence une opération très intéressante qui vient de s'accomplir dans les travaux du port de Marseille. Le bassin national que l'on est en train d'achever présente, dans son angle sud-est, un haut fond de rocher qu'il y avait lieu d'enlever. Dans ce but on s'est décidé à construire un batardeau en béton ceinturant tout l'espace à approfondir, afin de pouvoir mettre ensuite cet espace à sec. L'exécution de ce batardeau commencée en août 1876 a été terminée en octobre 1879. Dès le 15 décembre suivant, on a procédé à l'épuisement de la surface que le batardeau sépare de la mer et, le 25 janvier 1880, l'assèchement de cette surface étant obtenu, on a pu commencer à y installer les chantiers.

Le batardeau a un développement total de 1.069^{m},44. La surface de la portion de mer qu'il circonscrit et dont le fond est mis à nu, est de 4 hectares 35 ares 85 centiares.

La charge de l'eau contre la paroi du batardeau est de 7^{m},40 en mer moyenne et peut aller jusqu'à 7^{m},80, quand la mer est haute.

Le volume du béton qui a été coulé dans l'eau pour l'établissement du batardeau est de 37.500 mètres cubes. Celui des déblais qu'on a enlevés à la drague pour en préparer l'assiette est de 13.500 mètres. Le volume de l'eau qu'on a extraite pour opérer l'épuisement est de 210.000 mètres cubes. Cet épuisement a été obtenu par l'emploi d'une Noria et d'une pompe rotative actionnées, la première, par une machine fixe de 20 chevaux et, la seconde, par une locomobile de 15 chevaux. La Noria a marché pendant 873 heures, la pompe pendant 734 heures. L'épuisement est revenu à $0^f,06$ par mètre cube d'eau enlevée, dont $0^f 025$ pour l'installation des appareils (non compris les prix d'achat) et $0^f,035$ pour leur fonctionnement.

	fr.
Le mètre cube de béton, frais d'encaissement compris, était payé. . .	32,85
L'épuisement a coûté, pour installation et fonctionnement des appareils.	12.800,00
La dépense totale, y compris le nettoyage de l'assiette de fondation et autres travaux en régie, s'est élevée à.	1.200.000,00

Quand l'épuisement a été achevé, on a eu la satisfaction de voir que le batardeau en béton était parfaitement étanche, très bien lié avec le sol sur lequel il repose, qu'il n'y avait pas de source dans le fond et qu'en somme l'étanchéité était assez complète pour qu'on puisse maintenir la caissée à sec, en faisant fonctionner la Noria de temps à temps seulement.

Le mortier entrant dans la composition du béton, était fait avec de la chaux du Teil fournie par l'usine Soullier, Brunot et compagnie, et du sable de mer pris à Saint-Raphaël (Var), à raison de 400 kilogrammes de chaux pour $1^m,07$ de sable : il a été fabriqué au manège à roues. Le béton contenait $0^m,59$ de ce mortier pour $0^m,89$ de pierres cassées. Les précautions d'usage ont été prises pour arriver à un sol de fondation solide et le nettoyer, pour faire un bon coulage du béton, enlever la laitance et bien relier toutes les parties. Elles ont permis d'arriver à l'excellent résultat qu'il a été donné aux ingénieurs de constater. Ils espèrent qu'aucun accident ne viendra les empêcher de faire dans la caissée mise à sec les 83.000 mètres cubes de déblais en terrain dur, et les 22.000 mètres cubes de maçonnerie ordinaire, dont ils vont maintenant poursuivre activement l'exécution.

Marseille, le 13 février 1880.

N° 23

NOTE

SUR

LA PÊCHE DE LA MONTÉE D'ANGUILLES

Par M. DAGUENET, Ingénieur en chef des ponts et chaussées.

Une circulaire du 20 octobre 1879, a fait connaître à MM. les préfets et aux ingénieurs, qu'un décret en date du 15 juillet 1879, a conféré à M. le ministre des travaux publics la faculté d'autoriser dans un but de repeuplement, les agents de l'administration des ponts et chaussées, à pêcher en tout temps la montée d'anguilles connue sous le nom de montée Pibale, de Civelle ou de Boueron, à l'aide d'engins prohibés par les décrets réglementaires, et de permettre également le transport de cette montée. Elle a invité les ingénieurs en chef chargés d'un service de pêche à rechercher et faire connaître quelle quantité de petites anguilles pourrait être utilement employée au repeuplement des cours d'eau sur lesquels s'exerce leur action, l'administration devant s'empresser de leur désigner celui des ingénieurs en chef auquel ils auront à s'adresser pour obtenir des envois.

La pêche et le transport de la montée d'anguilles, étant pratiqués dans notre service depuis 1866, conformément à des instructions reçues de l'administration supérieure à cette époque, sous l'inspiration de M. Coste, membre de l'Institut et professeur au collège de France, nous avons pensé que quelques renseignements pratiques à ce sujet pourraient être utiles à quelques-uns de nos camarades.

Les petites anguilles remontent le cours de l'Adour, à partir de son embouchure dans les mois de décembre, janvier, février et mars, surtout quand les eaux sont troubles, elles entrent en masse compacte à la surface des eaux, dans un canal de moulin qui débouche dans l'Adour, à quelques kilomètres en amont de son embouchure. C'est là qu'avec des flambeaux qui attirent la montée, et de longues perches auxquelles sont emmanchés des tamis, les canotiers du port se rendent de nuit pour les pêcher. Ils plongent les tamis dans l'eau, et, après les avoir promenés quelques instants au-dessous de la surface pour recueillir tout ce qui surnage, ils

les retirent chargés de la glaire vivante qu'ils versent dans des paniers. Cette glaire est formée par des myriades d'animalcules filiformes, diaphanes, de 0m,06 à 0m,07 de longueur.

Les mannes ou paniers, de forme cylindrique, sont en osier, ils ont 0m,60 de diamètre intérieur et 0m,25 de hauteur; ils sont recouverts intérieurement de toile assez lâche pour laisser filtrer l'eau et l'air, et assez serrée pour empêcher les animalcules de fuir. On place dans le fond du panier, sur 0m,10 environ de hauteur, de la paille bien imbibée et brisée, ou des herbes marines, ou de la mousse bien imbibée, qu'on fait arc-bouter contre les parois du panier de manière à présenter des vides dans lesquels se logent les petites anguilles, quand on les verse dans le panier. Il peut entrer dans chaque panier jusqu'à 3 kilogrammes de montée, qui représentent 8 à 10.000 anguilles.

Les canotiers portent le produit de leur pêche au premier train du matin, à l'adresse du destinataire, qui a été prévenu d'avance d'avoir à prendre les paniers dans la gare qu'il a désignée. Les frais de port du panier plein et le retour du panier vide sont seuls à sa charge.

Il faut éviter de faire voyager les anguilles quand la température descend au-dessous de zéro.

Voici le tableau par départements, des expéditions faites depuis 1866, soit directement, soit par l'intermédiaire des ingénieurs du service hydraulique, à des propriétaires, qui, la plupart, ont déposé la montée d'anguilles dans des réservoirs ou dans des mares alimentées par les eaux de pluies, où les anguilles se développent rapidement et peuvent devenir comestibles en moins de deux ans.

ANNÉES.	DÉPARTEMENTS.	NOMBRE de paniers.	NOMBRE d'anguilles.
1879.	Landes	2	14.784
	Gers	14	112.896
	Tarn	2	14.784
	Totaux	18	142.464
Rappel des années 1866 à 1878.	Basses-Pyrénées	35	205.632
	Hautes-Pyrénées	20	118.272
	Landes	8	47.129
	Gers	87	568.220
	Haute-Garonne	4	29.568
	Aude	2	13.640
	Tarn	51	309 988
	Aveyron	3	16.128
	Totaux généraux	228	1.470.844

Bayonne, le 24 février 1880.

N° 24

Un chemin de fer sur la glace. — Nous trouvons dans le « *Cincinnati Commercial* » du 24 janvier 1880 les renseignements suivants dont l'originalité peut intéresser les ingénieurs et que nous donnons ici sous toutes réserves (*).

Le chemin de fer qu'on construit sur la glace pour traverser le Saint-Laurent à Montréal sera terminé dans quelques jours. Le train d'inauguration contiendra les directeurs du South-Eastern Railroad, les entrepreneurs et les représentants de la presse. Au point où on le traverse, le fleuve a 3.200 mètres de largeur; la longueur de la voie sur la glace est d'environ 4.800 mètres et la dépense s'élèvera à 6.000 dollars (30.000 fr.).

La voie est construite de la manière suivante. Des pièces transversales en bois, longues de $3^m,66$ et larges de $0^m,10$, sont disposées à plat sur la glace qui est horizontale. On a préalablement essayé la résistance de cette dernière et constaté son épaisseur. Sur les pièces transversales reposent deux cours de longerons en sapin de Virginie de $0^m,30$ d'équarrissage; ce sont des poutres, longues chacune de $4^m,57$ et placées bout à bout suivant deux lignes parallèles, distantes de $2^m,64$. Elles sont reliées transversalement par des traverses supérieures, de $0^m,10$ d'épaisseur, destinées à recevoir les rails. Quand la pose de cette ossature est terminée, des pompes envoyent entre les longerons de l'eau qui se congèle immédiatement, réunit tout l'ensemble d'une manière invariable et constitue une sorte de ballast d'une résistance au moins égale à celle du gravier et du sable employés sur les lignes ordinaires.

Les ingénieurs qui dirigent le travail ne paraissent pas avoir le moindre doute sur la solidité et la perfection de la voie. La locomotive qu'ils comptent employer pèse 18 tonnes; mais ils estiment qu'on pourra sans danger faire usage d'une machine de 24 tonnes, si cela est jugé nécessaire.

O. C.

(*) Nous apprenons depuis que le premier train a franchi le fleuve le 30 janvier 1880.

N° 25

BIBLIOGRAPHIE.

On s'est contenté jusqu'à présent de donner dans les bulletins bibliographiques des *Annales*, les titres des ouvrages parus à l'étranger et en France, sans se préoccuper d'une manière spéciale des publications périodiques. Ces indications sont suffisantes pour la majeure partie des livres et leur titre seul suffit généralement pour faire connaître la matière qu'on y traite. Il n'en est plus de même pour les publications périodiques, particulièrement pour celles qui paraissent à l'étranger, comme les mémoires et comptes rendus de l'institution des ingénieurs civils, des ingénieurs mécaniciens, etc., en Angleterre; comme le journal du Franklin Institute, les proceedings de la Société des ingénieurs civils, etc., en Amérique. On y trouve des mémoires du plus haut intérêt pour les ingénieurs, qui le plus souvent passent inaperçus, faute de leur avoir été signalés.

On a pensé faire une chose utile en donnant à l'avenir les titres des plus importants mémoires parus dans ces recueils, avec l'indication des noms des auteurs, et les renseignements tabulaires de nature à faciliter les recherches. On commence aujourd'hui cette innovation par l'analyse des publications de l'Institution des ingénieurs civils de Londres, pour l'année 1878-1879. On continuera en donnant successivement les indications analogues pour les publications du même genre. O. C.

INSTITUTION DES INGÉNIEURS CIVILS DE LONDRES 1878-79

(4 volumes).

1er VOLUME.

Le dock à l'embouchure de l'Avon, par John Bower Mackensie, M. I. C. E. (*), p. 3-21.

La rivière Lagan et le port de Belfast, par Thomas Ross Salmond, M. I. C. E., p. 22-35.

(*) Nous employerons constamment les abréviations suivantes :

M. I. C. E	membre de l'institution des ingénieurs civils.		
A. I. C. E.	associé	id.	id.
S. I. C. E.	élève	id.	id.
M. A.	maître ès arts.		

Le port de Whitehaven et les travaux des docks, par John Evelyn Williams, M. I. C. E., p. 36-48.

Discussion des mémoires précédents, p. 49-120.

Sur les appareils de chauffage et de ventilation de l'Université de Glascow, par William Weatherley Philpson, M. I. C. E., p. 124-143.

Discussion du mémoire précédent, p. 144-172.

Le canal de l'Est, pour établir une communication par eau de la Saône à la Meuse, par William Bell Dawson, S. I. C. E., ancien élève de l'École des ponts et chaussées de Paris, p. 207-233.

Drainage et amélioration de 600.000 hectares de landes, par George Wilson, M. I. C. E., p. 234-240.

Sur l'inclinaison à donner aux talus de tranchées, par Wilfrid Airy, M. I. C. E., p. 241-251.

Sur la nappe d'eau de la craie dans le Yorkshire, par John Robert Mortimer, p. 252-258.

Appareil à laver le charbon à Bessèges, France, par M. J. B. Marsault (traduction et extraits par Alfred Bache, A. I. C. E), p. 259-274.

Sur les progrès réalisés dans l'exécution des travaux publics à l'étranger, d'après les résumés insérés aux comptes rendus de l'institution pendant les années 1874-78, par L. F. Vernon-Harcourt, M. A., M. I. C. E., p. 275-285.

Sur les progrès des machines à l'étranger, d'après les résumés insérés aux comptes rendus de l'institution pendant les années 1874-78, par Daniel Kinnear Clark, M. I. C. E., p. 286-296.

Sur les progrès des mines et de la métallurgie à l'étranger, d'après les résumés, etc.,... pendant les années 1874-78, par Hilary Bauerman, A. I. C. E., p. 297-307.

Sur les progrès de l'électricité à la science de l'ingénieur, d'après, etc.,... pendant les années 1874-78, par Paget Higgs, p. 308-314.

Analyses de mémoires publiés par les Sociétés et les périodiques étrangers, p. 336-443.

2e VOLUME.

Les chemins de fer au Japon, par William Furniss Poter, M. I. C. E., p. 2-14.

Discussion du mémoire précédent, p. 15-23.

Sur les meilleures méthodes de construction des chemins de fer pour le développement des pays nouveaux, en prenant pour exemple les systèmes de chemins de fer de l'Australie du Sud, par Robert Charles Patterson, p. 24-45.

Discussion du mémoire précédent, p. 46-92.

Sur l'alimentation d'eau de Geelong (Australie), par Edward Dobson, A. I. C. E. p. 94-133.

Alimentation d'eau de Sandhurst (Australie), par Joseph Brady, M. I. C. E. p. 134-151.

Discussion des mémoires précédents, p. 152-170.

Pont de chemin de fer sur la rivière Tyne à Wylam (Northumberland), par William George Laws, M. I. C. E., p. 262-274.

Sur les moyens employés pour faire sauter les rochers aux travaux du port de Lyttleton (Nouvelle-Zélande), par George Thornton, A. I. C. E., p. 275-276.

Sur les essais des tuyaux de conduite d'eau et des joints dans les tranchées ouvertes, avec une description de la distribution d'eau d'Osset, par Malcolm Mac Culloch Paterson, A. I. C. E., p. 277-280.

Sur la construction de la carte d'un district par rapport à un méridien central, par Francis Palmer Washington, p. 281-283.

Analyses de mémoires publiés par les Sociétés et les périodiques étrangers, p. 293-392.

3e VOLUME.

Ponts mobiles, par James Price, M. I. C. E., p. 1-39.

Discussion du mémoire précédent, p. 40-76.

La lumière électrique appliquée à l'éclairage des phares, par James Nicholas Douglass, M. I. C. E., p. 77-110.

Discussion du mémoire précédent, p. 111-165.

Appareils dioptriques pour la lumière électrique dans les phares, par James T. Chance, M. A., A. I. C. E., p. 168-183.

Discussion du mémoire précédent, p. 184-197.

Les fondations du nouveau Capitole à Albany (New-York), par William Jarvis Mac Alpine, M. I. C. E., p. 198-207.

Rapport technique de l'Union des chemins de fer Allemands (traduction et extraits), par Walter Raleigh Brown, M. A., M. I. C. E., p. 208-230.

Les irrigations à Ceylan, par Henry Byrne, M. I. C. E., p. 231-238.

Le tunnel du Saint-Gothard (deuxième mémoire), par Daniel Kinnear Clark, M. I. C. E., p. 239-247.

Recherche de la meilleure forme à donner aux dents de roues d'engrenage, par Edward Sang, p. 248-271.

Expériences sur la filtration de l'eau, avec quelques remarques sur la composition de l'eau de la rivière La Plata, par George Higgin, M. I. C. E., p. 272-293.

Analyses de mémoires publiés par les Sociétés et les périodiques étrangers, p. 293-392.

4e VOLUME.

Pavages des rues où circulent des voitures, par George Frederick Deacon, M. I. C. E , p. 1-30.

Le bois employé en pavage pour les voies à lourd trafic, par Osbert Henry Howarth, A. I. C. E., p. 31-48.

Discussion des deux mémoires précédents, p. 49-101.

Amélioration de la barre du port de Dublin au moyen de curages artificiels, par John Purser Griffith, A. I. C. E., p. 101-123.

Discussion du mémoire précédent, p. 124-145.

Portes de docks, par Adam Fettiplace Blandy, M. I. C. E., p. 154-221.

Sur la force et l'élasticité des matériaux, par William James Millar, p. 222-226.

Description de machines pour la production et la transmission de la force motrice dans les grandes manufactures de l'Est du Lancashire et de l'Ouest du Yorkshire, par G. W. Sutcliffe, A. I. C E., p. 227-277.

Sur les moyens pour empêcher les canaux d'irrigation de s'envaser, par Robert Burton Buckley, A. I. C. E., p. 278-280.

Sur le transport des bancs de sable ou autres dans la mer, par George Henry Kinahan, M. R. I. A., p. 281-284.

Description d'un nouveau pont-levis sur le canal royal à Dublin, par Bindon Blood Stoney, M. A., M. I. C. E., p. 285-286.

Sur les pavages des rues et trottoirs de Montréal (Canada) de 1842 à 1878, par Parcival Walter Saint-Georges, M. I. C. E., p. 287-309.

Description de plusieurs ponts construits en Suisse, avec des remarques sur les ponts à larges travées et sur la stabilité des arches, par Jules Gaudard, professeur à l'Académie de Lausanne, p. 310-336.

Note sur une méthode graphique pour déterminer le débit d'un ruisseau alimentant un moulin, par William Shelford, M. I. C. E., p. 337-338.

Analyses de mémoires publiés par les Sociétés ou les périodiques étrangers, p. 365-442.

O. C.

N° 26

ÉTUDE

SUR

LES COURANTS DE CIRCULATION

ET SUR

LES PRINCIPES A SUIVRE DANS LE TRACÉ DES VOIES NOUVELLES DE TRANSPORT DESTINÉES A LES DESSERVIR

PAR M. PARANDIER,
Inspecteur général des ponts et chaussées en retraite.

AVANT-PROPOS.

En présence du nouveau programme d'innombrables lignes de chemins de fer hors-routes, il faudra bien, quelqu'ardeur qu'on veuille quand même apporter à leur réalisation, fixer un ordre de priorité et de succession dans les travaux ; autrement on risquerait de ne pouvoir les finir nulle part si on voulait les entreprendre partout et tous à la fois.

C'est pour ce motif qu'il m'a paru qu'il serait encore utile en ce moment, d'exposer les vues qu'une longue expérience m'a suggérées sur la question du choix des tracés des voies de fer hors route, et sur celle des motifs déterminants de leur exécution.

Il n'y a rien de vraiment scientifique dans tout ce que renferme le mémoire qui va suivre ; ce qui y est dit me semble à la portée de tous les intéressés, comme à celle des ingénieurs et des membres des conseils généraux, des commissions d'enquête et du Parlement plus particulière-

ment appelés à se prononcer sur la déclaration d'utilité publique des nouvelles lignes et sur les motifs déterminants de l'opportunité plus ou moins immédiate de leur exécution.

SOMMAIRE.

Origine et direction des courants de circulation continentale. — Obstacles naturels à leur accroissement. Ponts, routes, rivières, canaux. Parcours lointain et local. — Prééminence générale de ce dernier sur les vrais courants ; il y est un élément très progressif et décisif du tracé des voies de transport perfectionnées. — Caractère des vrais courants déterminés par des circonstances naturelles et immuables ; exemples divers ; autres circonstances promotrices des voies de communication ; et classification selon leur importance principes de l'ouverture des voies de fer parallèlement aux routes nationales. — Considérations restrictives. — Courants de circulation sur les fleuves et rivières. — Transit, conditions de son déplacement ; discussion spéciale de deux de ces conditions ; diversités de leur influence ; exemples. — Danger des perspectives hasardées sur le trafic des voies de fer à établir. — Revers et désastres occasionnés par ces perspectives. — Question des têtes de lignes. — Influence avantageuse de l'annexion d'un transit, désavantageuse de son déplacement. — Question de contiguïté ou d'indépendance des voies de fer et de navigation. Relations internationales de peuples à peuples. — Cas de frontières internationales : maritimes ou continentales : celles-ci sont traversées, ou sur des sols peu accidentés, ou sur des fleuves, ou enfin à travers des massifs montagneux. — Résultats économiques des routes internationales qui traversent ces derniers ; voies ferrées ouvertes avec longs détours pour passer par leurs coupures de fond (cluses). — Conséquences désavantageuses pour les centres de populations précédemment desservis par les routes internationales directement transversales. — Le progrès dans l'art d'ouvrir et d'exploiter les voies de fer à travers les sols accidentés, en prescrit l'établissement sur les tracés des grandes routes précitées. — Indications d'applications équitables à faire de ce principe. — Il faut néanmoins les justifier à la fois techniquement et par documents économiques et financiers. — Cette réserve est impérieuse ; exemples et antécédents qui le prouvent. — Conclusions générales de tout ce qui précède.

Origine et direction des courants de circulation.

Les courants de circulation continentale ne tracent pas leur direction au hasard !

Lorsque par le concours de circonstances et de nature de lieux, qu'il ne s'agit pas ici de discuter et d'apprécier, un centre de population et de travail s'est fixé et développé, le besoin de relations et d'échanges extérieurs ne tarde pas à se révéler dans la direction d'un autre centre analogue, où abondent certains produits différents de ceux du premier.

Obstacles naturels. — Ponts, routes, rivières, canaux. — Chemins de fer.

Il ne peut être satisfait, de prime abord, à ce besoin qu'à travers bien des obstacles naturels (*) : sols plus ou moins accidentés, cours d'eau à traverser, chaînes de montagnes à franchir, sans compter d'autres natures de difficultés telles que : oppositions, absence de ressources, etc., etc.

Les voies de communications sur terre, s'étendent d'abord au delà des circonscriptions territoriales par le consentement et le concours mutuels des intéressés d'en

(*) Ces obstacles constituent le *protectionisme naturel* qui force l'homme à tirer parti de tous les éléments sous sa main, pour *produire le plus possible sur place* ce dont il a et peut avoir besoin.

A mesure que l'homme reconnaît et découvre les lois naturelles, il les applique à ses propres besoins et au progrès de la civilisation; c'est de là qu'est né le *système douanier*, qui, en sa qualité de *protectionisme artificiel*, n'est que l'*imitation du premier* ; or, celui-ci ne peut pas disparaître brusquement, puisque ce n'est que très à la longue que les antagonismes cessent et que s'ouvrent et s'améliorent les voies de transport ! Il doit donc en être de même du second, quelque désir qu'on en ait ! Voilà qui s'adresse aux libres-échangistes qui ont voulu en 1860 faire instantanément un pas trop grand et trop brusque selon moi vers le libre-échange.

deçà et d'au delà, ce qui ne laisse pas que d'être quelquefois long et difficile à obtenir !

La traversée des *cours d'eau* se fait à l'origine au moyen d'appareils flottants : barques, bacs, bateaux, ponts volants, ponts de bateaux, etc... sur les points où le lit et ses rives sont le mieux disposés pour les recevoir ; puis, lorsque les besoins l'exigent, on en arrive enfin à leur substituer des *ponts fixes* qui suppriment les interruptions et procurent plus de facilité et de sécurité à la circulation qui y passe.

Quant aux *chaînes de montagnes*, elles sont franchies, soit par les *coupures de fond* (*cluses*) que les cataclysmes géologiques y ont pratiquées, et où passent actuellement les cours d'eau qui circulent dans l'intérieur d'un bassin hydrographique (*), et avec eux toutes les voies de transport ; soit, quand ces montagnes forment la limite de ce bassin, en s'élevant et en passant, au moyen de tranchées ou tunnels, *par* ou *sous* les points les plus bas (*cols*) qui existent sur leur ligne de faîte.

Parcours local et lointain.

C'est ainsi que, de proche en proche, et de centres à centres de population, les relations et les échanges déterminent un mouvement qui, tout d'abord local et restreint, s'étend d'une manière lente mais progressive selon l'état de la viabilité de la voie destinée à les desservir, jusqu'à des distances de plus en plus lointaines.

Il en résulte qu'au fur et à mesure que s'accroît et s'allonge un parcours partiel de plus en plus condensé, il s'établit indépendamment du petit matériel de véhicules qui lui est destiné, un autre matériel pour le grand parcours (**).

(*) Comme par exemple à travers les chaînes de circonvallation du bassin de Paris.

(**) C'est ainsi que le développement de la circulation s'est réalisé, à

Aux messagers et aux petites voitures publiques de voyageurs, colis et bagages, sur route de terre, viennent s'ajouter les moyennes diligences, puis les grandes à 19 places et à 5 chevaux, puis les malle-postes et les briska pour la grande vitesse sur voie de terre, et pour les longs parcours.

Même marche et même progression pour les transports de toutes espèces de marchandises et de produits, d'abord par des véhicules imparfaits et de marche irrégulière, puis par des messageries et roulages réguliers plus ou moins accélérés, plus ou moins nombreux et développés selon l'importance des courants à desservir, et enfin par cette moderne et merveilleuse invention de force et de rapidité : la *locomotive entraînant à sa suite son train de wagons*, plus puissant à lui seul que tout l'équipage des anciens services de transports que nous venons d'énumérer.

La navigation commence de même sur les grands cours d'eau qui descendent des hauts massifs montagneux et s'en vont, de pentes en pentes, gagner les mers en recevant sur leurs parcours les affluents de *bien des régions différentes.*

Pour peu qu'ils soient naturellement navigables, ce sont des transports provoqués tout d'abord par la diversité des produits qui résultent du contraste des sols et des climats traversés, et qui s'effectuent à l'origine avec un petit matériel imparfait de batellerie.

Ce premier outillage s'améliore et se complète par un matériel plus puissant, au fur et à mesure que la navigation se perfectionne et que le développement des populations et des besoins d'échanges en font ressortir la nécessité.

Ce n'est pas à dire que sur les routes comme sur les

---

la renaissance de la civilisation après le moyen âge, par des chemins excessivement accidentés de châteaux en châteaux sur sommités escarpées ; ces chemins se sont peu à peu, de proche en proche, modifiés, perfectionnés et placés dans la *zone où les appelait les localités devenues populeuses, et le mouvement progressif des relations et échanges.*

voies navigables, les grands véhicules une fois installés, ne servent qu'aux transports à de grandes distances? Non! Ces puissants véhicules, même indépendamment de ceux particulièrement destinés aux parcours partiels dont le nombre se maintient et ***même s'accroît***, n'en desservent pas moins un grand nombre de points intermédiaires de leur parcours; car ***ils y laissent et ils y prennent***, et cela est vrai, pour le transport des marchandises comme pour celui des voyageurs.

On voit aujourd'hui les mêmes faits se produire sur les chemins de fer hors route, bien que leur établissement suppose l'existence antérieure d'une circulation importante de toutes natures, en parcours partiel et en parcours plus ou moins étendu.

Prééminence du parcours partiel sur le transit, élément décisif du tracé des voies de fer.

Il est extrêmement rare que ce dernier (*) puisse arriver à équivaloir au premier, et l'on peut dire au contraire, en principe général, que les personnes et les choses d'un parcours à longue distance ne s'élèvent toujours sur les *vrais courants* (**) qu'à une proportion infime des relations et du trafic de toutes natures qui ont lieu *entre les points intermédiaires* et *entre ceux-ci et les points extrêmes et au delà*.

Il est facile de constater du reste que, sauf quelques wagons réservés dans les *trains express'* sur les six grands courants qui existent dans le réseau des six grandes compagnies des chemins de fer français (un *seul grand courant*

(*) Le transit.

(**) C'est-à-dire sur ceux qui ne fonctionnent pas seulement comme *déversoirs*; mais dont le lit s'est, au contraire, instinctivement et à la longue fixé où il existe; exemples: le pied du Jura, celui des côtes de Bourgogne, le pied oriental des Vosges, etc., nous y reviendrons plus loin.

dans chaque réseau), on ne voit que des trains dont les wagons et compartiments *sèment et récoltent voyageurs et marchandises sur tous les points de leur parcours.*

Cela est vrai, en petit comme en grand ; car il ne faut avoir fréquenté que pendant quelques jours un service quelconque d'omnibus ou de petites messageries ou de tramways, pour avoir reconnu qu'il en est ainsi, même dans ces spécialités de service de transport à petites distances.

Je tiens à citer à l'appui de cette thèse de la *prééminence du parcours partiel* ou *local*, des faits et documents insérés dans un ouvrage récent sur les travaux publics (*).

On y trouve un chapitre sur les études préparatoires d'un projet de chemin de fer qui doivent, dit l'auteur, *débuter par celle de la question du tracé au point de vue commercial*, c'est-à-dire sur la *recherche du trafic probable* et *l'évaluation du produit brut de la ligne à construire.*

C'est pour éclairer cette recherche que l'auteur a composé un tableau où figurent les proportions du *parcours partiel* et *du transit* sur cinq lignes de chemin de fer en exploitation et d'une longueur de 85 à 100 kilomètres.

Eh bien ! sur ces cinq lignes, le tableau fait voir que le *parcours partiel* en voyageurs, varie de 85 à 99 p. 100 et que celui des marchandises s'y élève de 80 à 90 p. 100 ! Sur trois de ces lignes *le transit* ne dépasse pas 1 p. 100 et celui des marchandises de transit n'atteint pas 10 p. 100.

Ce n'est pas à dire sans doute, que ces proportions se maintiennent sur toutes les lignes(**) ; « néanmoins il est bon,

---

(*) *Annales des Ponts et chaussées*, janvier 1879, page 53.

(**) Le tableau précité lui-même se termine par les données relatives à un chemin de fer de 81 kilomètres (Francfort-Bibra) sur lequel le transit ou parcours total des voyageurs est de 20 p. 100 et celui des marchandises de 60 p. 100. Cependant je dois dire que la proportion inverse en faveur du parcours partiel est ressortie jadis de mes calculs détaillés du trafic sur la ligne de la Méditerranée au Rhin par Besançon, Lons-le-Saulnier, Bourg, qui avait pourtant été considérée et proposée en 1839 comme une des quatre plus grandes lignes du réseau français.

« est-il dit à la suite de ce tableau, de signaler ces résul-
« tats aux promoteurs de lignes nouvelles qui, à défaut de
« trafic local, annoncent volontiers des produits considé-
« rables à espérer du transit, et *croient pouvoir transporter*
« *tout le trafic d'une voie de communication* plus ou moins
« éloignée sur celle qu'ils ont en vue de créer ! »

Or, ces relations locales *ne peuvent pas se déplacer, et ce sont celles qui, par l'amélioration de la voie de transport, s'accroissent dans la plus forte proportion*, elles doivent être considérées comme *inaliénables* et par conséquent comme un *élément décisif pour lier le plus intimement possible la voie perfectionnée à l'ancienne voie qu'elle doit suppléer.*

J'ajoute qu'il faut même aussi, lorsqu'il s'agit d'exécuter à grands frais une voie de fer hors-route, sur une direction déterminée, trouver dans les éléments qui entrent dans le calcul du trafic, *surtout du trafic local*, et dans les circonstances qui le déterminent, des indications précises sur les *chances d'accroissement*, et sur la portée de ces chances elles-mêmes !

Vrais courants de circulation. — Exemples divers.

Je viens d'énoncer tout à l'heure les mots : *de vrais courants;* il faut bien expliquer les circonstances et la portée que j'attribue à cette expression.

J'entends par là les courants de circulation qui naissent des circonstances de *climat*, de *nature*, de *relief* du sol et des *conditions hydrographiques et géologiques* qui ont déterminé instinctivement l'emplacement des centres de population, puis leur développement et celui de productions territoriales d'industries variées, et par conséquent du commerce qui en a été la conséquence, soit entre localités voisines, soit entre des régions plus ou moins éloignées les unes des autres.

A peine entré au début de ma carrière dans le service des routes des montagnes du Doubs, je m'occupai de dresser le tableau des nombreuses rectifications dont elles étaient susceptibles, je m'en occupai aussi un peu plus tard dans le Jura, comme Ingénieur d'abord, puis comme membre du Conseil général de ce département, et ne tardai pas à m'apercevoir que généralement les modifications que leurs tracés avaient déjà subies à diverses époques de l'histoire pour remplir le but qui leur était alors assigné, ne les avaient pourtant jamais fait sortir d'une zone restreinte, ni dévié de certains points de passage obligés, soit par des centres de population si bien situés qu'après des guerres dévastatrices ils renaissaient de leurs cendres, soit par des plis, cols, défilés ou dépressions de chaînes de montagnes qu'elles avaient à traverser.

Les déviations partielles suivies entre ces points obligés étaient nombreuses par la raison que les conditions à remplir étaient variées elles-mêmes.

Sous la domination romaine, elles étaient dirigées suivant des vues d'ensemble et de manière à toucher les camps établis pour maintenir la conquête, et éviter les surprises aux légions en marche.

Au moyen âge, les tracés antérieurs avaient été abandonnés, le réseau était pour ainsi dire déchiqueté en tronçons tracés et ouverts pour desservir les châteaux aujourd'hui en ruines élevés alors sur les sommités les plus inaccessibles de la région, au point que les grandes routes à la renaissance du commerce et de la civilisation n'étaient qu'une série de mauvais chemins les uns au bout des autres. La circulation y était même tellement pénible qu'il ne fallait pas moins d'une journée entière pour un parcours de vingt kilomètres, même sur des directions devenues depuis très importantes.

En même temps que le développement de la circulation déterminait l'amélioration des voies existantes, toujours en

ne s'en écartant que dans une certaine mesure, les besoins nouveaux de diverses natures nécessitaient successivement l'ouverture d'un nombre croissant de voies nouvelles. L'importance de beaucoup d'entre elles s'est, il est vrai, modifiée en même temps que se modifiait la prééminence de certains centres commerciaux ou militaires; mais, comme nous l'avons dit, les *vrais courants* déterminés par des circonstances naturelles immuables de la zône dans laquelle ils existaient, persistaient et grandissaient, et les tracés des chemins ou routes qui les desservaient, se perfectionnaient avec une tendance évidente à se placer dans leur lit définitif.

Ce qui précède me paraît fort naturel; il faut bien, en effet, qu'un massif montagneux qui n'est couvert que de forêts et de pâturages, et dont rien dans la période humaine ne peut modifier les conditions physiques, échange ses produits avec ceux tout différents des plaines basses d'un tout autre climat et d'une tout autre nature de sol.

Il faut bien que les voies de communication destinées à opérer ces échanges passent à travers les défilés que présentent les accidents du sol, et se développent sur les versants des vallées transversales à la direction des chaînes de montagnes qu'elles ont à franchir.

Il est tout naturel aussi que les centres de population, d'administration, de commerce et d'industrie se fixent principalement à l'embouchure de ces vallées dans les plaines; et, comme c'est sur la lisière de celles-ci que règne le climat le plus doux et le plus favorable aux produits territoriaux les plus variés, c'est forcément par ces points privilégiés de commerce, d'industrie et de produits, que doivent passer les grandes voies de transport destinées à les relier entre eux et à rattacher tout le mouvement transversal d'échange qui y aboutit ou y passe, aux contrées lointaines du Nord au Midi ou de l'Est à l'Ouest; de là résultent des courants de circulation transversale et un courant

de circulation longitudinale (c'est-à-dire le long du pied des chaînes de montagnes).

Celui-ci est généralement le plus important, mais l'on conçoit cependant que l'annexion à l'autre d'un transit d'échange de région à région lointaine, et à fortiori l'annexion d'une circulation internationale, puissent lui donner une importance égale et même supérieure à celle du courant de circulation longitudinale.

Pour mieux faire ressortir la réalité de ce qui précède, je vais en prendre, sur la frontière de l'Est, quelques exemples frappants qu'on reconnaîtra comme incontestablement applicables à d'autres régions.

Entre Mulhouse et Besançon, de nombreuses routes fort différentes les unes des autres ont été ouvertes et fréquentées depuis l'époque romaine jusqu'à nos jours; j'en ai fait, à l'occasion de diverses rectifications de la route nationale de Lyon à Strasbourg et des longs débats sur le tracé de la voie de fer de Mulhouse à Dijon, une étude particulière accompagnée d'une carte indicative de toutes les directions suivies par ces anciennes routes.

On y voit que le *col de Valdieu* (trouée de Belfort) et *Besançon*, ont été constamment les points de passage de leurs différents tracés.

On trouve encore dans quelques localités intermédiaires, les restes de l'ancienne voie romaine; elle y est désignée sous le nom de : *Levée de Jules César*, notamment près de *Rang*. Il en est de même sur plusieurs autres points ; ailleurs elle touche des postes défensifs : *Camp de César*, près de Clerval, *fortifications à Voujeaucourt*, *à Longeville*, etc.

Au moyen âge, les anciennes voies avaient été délaissées ; la route était fragmentée pour desservir les vieux châteaux situés sur les rives du Doubs ou sur la chaîne du Lomont, tels que ceux de Montfaucon, Roulans, Vaîtte, les Ongney, Clerval, Colombier-Chatelot et d'autres encore si-

tués dans la même zône entre la trouée de Belfort et Besançon.

Ce n'est que bien postérieurement que, tronçons par tronçons, les tracés accidentés sur les hauts plateaux, ont été remplacés par des parties de routes s'approchant de la vallée du Doubs, puis s'y fixant définitivement.

Entre Besançon et Lyon, les mêmes faits se sont reproduits dans la zône même ou à peu de distance de la zône où existe aujourd'hui la route 83 de Lyon à Strasbourg.

Sur plusieurs points de cette zône on voit aussi des restes de la voie romaine surnommés comme à Rang : *Levée de César.*

Cette voie de Besançon sur Lyon traversait le département du Jura dans toute sa longueur du Nord au Sud ; elle franchissait la Loue à Arc-et-Senans fort près du point où la franchit aujourd'hui le chemin de fer, passait près de Certemery, de Villette près Arbois, sur la côte de Sarre à Buvilly près Poligny, « elle suivait, dit l'historien Chevalier, le gisement de la montagne du Jura, mais un peu « plus haut que la route d'aujourd'hui » ; et en effet, elle se maintenait en plusieurs points sur le premier plateau, passait près de Château-Châlon, de Crançot, de Coldre, puis au pied de la côte de Bonnaud et dans une gorge près de Monnetay pour arriver ensuite à Lyon en suivant le bord des plaines de la Bresse.

Sur toute cette direction on rencontre des camps romains ou d'autres travaux de la stratégie romaine : à Avanne sur le Doubs, à Quingey, sur la côte de Sarre, plus loin près de Château-Châlon, à Sermus, au-dessus des escarpements de Beaume (*), à Coldre et sur différents autres points : Publy, Poids-de-Fiole, etc., où se trouvent encore des restes

(*) Le camp de Sermus a beaucoup d'analogie, par les circonstances topographiques et hydrographiques qui l'environnent, avec celui d'Alise-Sainte-Reine.

d'ouvrages qui indiquent le séjour prolongé des légions romaines (*).

A l'époque du moyen âge, le chemin de Besançon sur Lyon suivait la même direction, et il était très accidenté par ses fortes pentes et contre-pentes. Sur les territoires d'Arbois, Poligny, on le désignait et on le désigne encore sous le nom de *Besancenot*. Sur d'autres points, notamment à l'est de Saint-Lothain, il portait le nom de *Chemin-des-Allemands*, celui de *Malrue*, sur le territoire de Montain, etc. Il passait sur tout son développement près d'un grand nombre de châteaux plus ou moins fortifiés : Montferrand, Quingey, Vaugrenans, la Châtelaine, Vadans, Grimont à Poligny, Saint-Lothain, Frontenay, Voiteur, la tour du Pin, près Lons-le-Saulnier, Beaufort ou Rebagna, etc.

Il a donc toujours subsisté le long du pied du Jura une voie de transport qui s'y est maintenue dans une zône étroite depuis les temps les plus reculés jusqu'à nos jours, et les nombreuses rectifications successivement exécutées sur cette route ne l'ont point fait sortir de cette zône.

Aussi, quand il fut question d'études sur le tracé du chemin de fer de l'Alsace sur la Franche-Comté, n'hésitai-je pas à les diriger de Valdieu sur Besançon, par la vallée du Doubs et à lutter contre un parti bisontin puissant qui voulait qu'on l'en éloignât. J'ai de même persisté à en indiquer, de la manière la plus persévérante, le prolongement par le *pied du Jura* comme le seul tracé rationnel, malgré la majorité lédonienne qui voulait qu'il fût dirigé par Dôle en laissant de côté Poligny, Arbois et Salins et la presque totalité de l'arrondissement dont ces villes font partie (**). La Compagnie de Paris-Lyon elle-même, voulait en 1854, éviter l'ouverture d'une voie de fer sur cette direction.

(*) Edouard Clerc, Franche-Comté à l'époque romaine.

(**) Mon mémoire comparatif du trafic à espérer sur le tracé par Poligny et sur celui par la Bresse était écrasant pour ce dernier.

Voici comment, pour la faire prévaloir, j'exprimais mon avis dans mon premier mémoire de septembre 1838 sur mon projet d'un chemin de fer de Mulhouse à Dijon par Besançon. « La voie de fer de Mulhouse à Dijon, passant « par Besançon, se relierait avec son prolongement sur « Lyon, en regagnant du plateau de Saint-Fergeux la vallée « du Doubs pour la quitter à Oselle, franchir la Loue à « Cramans et, de ce point, longer les plaines de la Bresse « sur la lisière des monts Jura: desservant ainsi toutes les « villes situées à l'embouchure des vallées qui en descen- « dent, et tracée par rapport à ces vallées et aux plaines « de la Bresse comme vient de l'être, par rapport aux plai- « nes de l'Alsace et aux vallées des Vosges entre Mulhouse « et Colmar, celle de Strasbourg à Bâle (*). »

J'insistai vivement sur ce point en 1841, dans mes projets où figurait le tracé sur Lyon par Poligny, Lons-le-Saunier, et dans mon mémoire de 1854 où, pour combattre la Compagnie de Lyon qui avait fait mettre aux enquêtes un projet de Dôle à Moulins par Chagny, *pour éviter le Jura*, je disais (**) :

« Par la ligne du pied du Jura qui, dès l'origine de la « conception du réseau français avait attiré l'attention du « gouvernement (1839), il s'agirait de développer les « nombreuses relations qu'entretiennent les popula- « tions de cette zône, soit des unes aux autres, soit de « toutes avec Besançon, les montagnes du Doubs, l'Alsace « et la Suisse de l'Est d'une part, et avec Bourg, Lyon et « le Midi de l'autre. Ne serait-ce pas méconnaître la puis- « sance de ces faits que de déplacer les points naturels

(*) Le tracé quitte le pied des Vosges entre Colmar et Saverne et il a fallu y remédier par des chemins d'intérêt local que M. l'Ingénieur en chef Coumes a pris l'initiative de proposer et de faire admettre.

(**) Observations des membres du Conseil général, etc., au sujet des enquêtes ouvertes sur un projet de chemin de fer de Dôle à Moulins proposé par la compagnie P.-L.-M.

« d'échange des produits de climats différents, en éloi-
« gnant le railway de *cet axe central* des intérêts et des
« affaires des départements de la Franche-Comté, que de
« bouleverser, anéantir de riches établissements, renverser,
« prolonger et refaire tout le système des voies de terre
« qui affluent aujourd'hui de part et d'autre sur la route
« actuelle n° 83 de Lyon à Strasbourg ! »

Enfin revenant (en 1858) (délibération du Conseil général du 31 août) sur ces considérations, je les appuyais de nouveaux développements de la manière suivante : « Il ne
« s'agit pas ici, loin de là, comme sur d'autres points, d'une
« direction de second ou de troisième ordre où l'on croi-
« rait pouvoir créer une circulation qui n'a jamais existé ;
« Le courant du pied du Jura est, au contraire, le plus an-
« cien qui se soit établi dans l'est de la France.

« C'est là qu'ont circulé les premiers grands services de
« diligences publiques, les premières malles-postes, les pre-
« miers services de roulage ordinaire et de roulage accéléré
« de longs parcours, emportant le transit de la Suisse et
« de l'Allemagne de l'est sur le Midi et *vice versâ*, touchant
« en même temps, à l'embouchure des vallées qui descen-
« dent des plateaux montagneux du Jura et de l'Ain, de
« nombreux centres d'administration, de commerce, d'in-
« dustrie et de population.

« Ces chefs-lieux, qui de Besançon à Bourg se succèdent
« si peuplés et si serrés, ne sont autre chose que les sta-
« tions commerciales de cette voie séculaire de la Médi-
« terranée au Rhin, où viennent aboutir de toutes parts
« les produits industriels et agricoles de l'intéressante
« contrée qu'elle parcourt, et où viennent se rendre
« aussi du Nord et du Midi les denrées qui s'y consom-
« ment.

« Successivement modifiée et perfectionnée de siècle en
« siècle, pour se marier plus intimement avec les nom-
« breux bourgs et villages que le commerce, l'industrie, la

« fertilité du sol et la beauté des sites y ont fait naître,
« cette voie, que représente aujourd'hui la route impé-
« riale n° 83, de Lyon à Strasbourg, est située sur une
« *zône moyenne*, elle-même comprise entre deux *zônes la-*
« *térales :* la *plaine* d'une part, et la *montagne* de l'autre,
« qui viennent *chacune y échanger avec les deux autres*,
« *leurs produits différenciés par le contraste des climats et la*
« *nature du sol.*

« C'est par cette route, dotée de toutes sortes de ser-
« vices de transport largement alimentés et bien entrete-
« nus, que s'effectuaient, on peut dire à très bas prix
« d'alors, les relations commerciales et lointaines des *trois*
« *zônes du Jura* que nous avons signalées. Elles rece-
« vaient, tant du Nord et du Nord-Est que du Midi, des
« blés et farines, des huiles grasses, des moutardes, ami-
« dons, colles, garances, denrées coloniales, des chanvres
« bruts et peignés, des cordages, des toiles et tissus de
« toutes espèces, et même jusqu'à des débris de filature;
« c'est-à-dire un ensemble de produits qui ne se créent
« pas dans le Jura; pendant que, de leur côté, elles expé-
« diaient aux mêmes conditions avantageuses, soit sur Be-
« sançon, les Vosges, l'Alsace, soit sur Lyon, le Midi et
« même le centre, leurs produits de métallurgie, de pape-
« terie, d'horlogerie, de lapidairerie, de tabletterie, de
« bimbeloterie, de boissellerie, etc., etc., enfin leur bétail et
« leurs diverses denrées minérales et agricoles, particuliè-
« rement leurs bois, leurs fromages, leurs sels, leurs plâ-
« tres, leurs vins, etc.

« Le vignoble du Jura approvisionnait, *presqu'à l'exclu-*
« *sion de tout autre*, le département du Doubs et en grande
« partie ceux de la Haute-Saône, des Vosges et du Haut-
« Rhin.

« Il y avait là de vieilles habitudes prises, de grands
« services de transports organisés, des établissements pro-
« voqués et créés par les circonstances orographiques,

« géologiques et climatériques des lieux; enfin de sé-
« rieux intérêts engagés, des droits péniblement acquis et
« consacrés par le temps.

« Quoi de plus respectable qu'un mouvement de per-
« sonnes et d'affaires aussi antique et aussi persistant !

« Serait-il équitable, serait-il rationnel de vouloir faire
« sortir et éloigner de ce mouvement, la voie de transport
« perfectionnée par laquelle il s'agit de suppléer la grande
« route de Lyon à Strasbourg?... »

Les mêmes considérations s'appliquent parfaitement aux grands courants de circulation qui existent sur la lisière des montagnes ci-après :

De la *Côte-d'Or*, où fonctionne aujourd'hui le chemin de fer de Langres et Dijon à Chalons-sur-Saône, etc. (*);

De celle des *Vosges*, au pied du versant oriental desquelles existe depuis Belfort et Cernay près Mulhouse, jusqu'à Vissembourg au delà de Saverne, la route nationale n° 83 de Lyon à Strasbourg, depuis longtemps doublée par un chemin de fer sur presque toute sa longueur.

De celles de *la Forêt-Noire*, au pied du versant occidental de laquelle a été très bien tracée la voie de fer du duché de Bade;

Des *Monts-Faucilles*, par Lure, Luxeuil, Vauvilliers, Jussey, etc......, Vesoul, Langres, route nationale n° 19, de Paris à Bâle.

Des *Pyrénées*, etc., etc.

Les tracés des courants qui se sont établis dans le sens

(*) Les tracés *primitivement étudiés* s'éloignaient beaucoup du pied de la côte de Bourgogne, et tiraient à travers la plaine directement sur Châlons-sur-Saône : j'ai dû lutter vivement pour obtenir de rapprocher la ligne du pied de la côte et de la faire passer à travers les faubourgs extrêmes des villes de Nuits et de Baune, et encore après l'exécution, les localités de Gevrey, Chambertin, de Meursault m'ont-elles reproché de n'avoir pas fait contourner les tracés pour les atteindre et les toucher ! Il s'agissait là, cependant, de la grande ligne de Paris à Lyon et à la Méditerranée !...

transversal aux chaînes de montagnes comme je l'ai plus haut expliqué, ont été déterminés par des conditions d'une nature analogue à ceux des courants longitudinaux dont je viens de parler; mais leurs points de passage y sont plus impérieusement commandés par les *défilés*, *cluses* ou *cols* qui y sont plus fréquents et plus accentués que dans l'autre sens. On rencontre aussi sur leur direction des camps romains, des châteaux forts du moyen âge et des forteresses modernes (*).

Il existe des voies de communication de cette nature dans toutes les chaînes de montagnes, et j'en pourrais citer à travers nos monts Jura dix ou douze qui, partant des centres principaux de population échelonnés de Belfort à Bourg ou les traversant, vont, en passant par une série de cluses et défilés secondaires, aboutir aux cols du faîte principal de notre frontière suisse, savoir (en marchant du Nord au Midi) aux cols : des *Rangiers* sur Suisse, des *Roches* et des *Sarrazins* (passage secondaire), par Morteau; des *Verrières*, *Sainte-Croix*, *Jougne*, par Pontarlier et la Cluse, ou par Saint-Antoine et Métabief; de *Saint-Cergues* et de *la Faucille*, par Morez et les Rousses; enfin de *la Cluse-Nantua*, par Bourg sur Bellegarde.

Sans avoir tous la même importance, qu'ils soient rectangulairement transversaux ou obliques, ils n'en ont pas moins été déterminés tous ou presque tous de temps immémorial, par des circonstances naturelles immuables.

Il est une de ces directions, celle par laquelle a été ouverte la première voie de fer transversale aux monts Jura (de Dôle à Pontarlier — Neuchâtel — Jougne — Lausanne),

(*) Si en 1871, il eut existé aux lieux et places des châteaux forts du moyen âge de la *châtelaine, de Montrond, de Montrivel,* des fortins *modernes,* comme ceux de *Salins* ou de *la Cluse-Pontarlier* (fort Dejoux et du Larmont), Mannteufel y eut été arrêté comme il l'a été par ces derniers, et l'armée de l'Est eût pu s'échapper par les montagnes en suivant les routes de Censeau, Nozeroy, Champagnole, Lons-le-Saunier et autres parallèles aux crêtes qui dominent la plaine.

à propos de laquelle un historien littérateur de beaucoup de mérite, M. le professeur Girard a publié une notice dont je me plais à reproduire le passage suivant :

« Le chemin *vinetier* c'était, dit M. Girard, l'ancien chemin « du Pays-Bas sur les montagnes et sur la Suisse ; on « l'appelait *vinetier*, parce qu'il servait surtout au trans- « port des vins. Nos pères avaient entendu raconter à nos « ancêtres qu'autrefois leurs vins y circulaient en fran- « chise, sans entraves et sans droits, privilège unique dont « leurs souverains les avaient gratifiés pour honorer leur « courage et leur patriotisme. De vieux titres (et ils les « citaient avec orgueil) en faisaient mention ; et il est en « effet constant qu'il était au XVII[e] siècle désigné sous le « nom de : *Grand chemin royal des duchés de Bourgogne « et de la Comté sur les montagnes et sur la Suisse*, et avant « le XVII[e] siècle sous celui de : *Chemin-de-la-Rage*, *Chemin- « de-Vie*, et cela de toute antiquité. L'on y trouve, en effet, « des ornières profondes dans le roc que la science attri- « bue de nos jours aux chemins *celtiques* ; celtique en « effet, car une note manuscrite conservée dans nos archi- « ves, nous apprend que, bien avant l'invasion romaine, « les Éduens, les Séquanes et les Helvètes, tracèrent d'un « commun accord une route depuis Autun, capitale des « Eduens, jusqu'à Berne, capitale des Helvètes, en passant « par Auxonne, Dôle et Arbois.

« Ce chemin se trouve bien en effet sur une ligne directe « partant de la France centrale et aboutissant à ces dé- « pressions du Jura, voisines de Pontarlier, qui ouvrent « vers la Suisse de l'Est et du Centre, les plus faciles pas- « sages qu'offre la longue chaîne des monts Jura entre le « Rhin et le Rhône, à peu près à égale distance des deux « fleuves.

« C'est par là que passaient dans leurs pittoresques « costumes, d'humbles marchands vignerons et maraî- « chers, cheminant pêle-mêle, race industrieuse opiniâtre

« au travail, allant porter dans le haut pays les fruits re-
« nommés et les savoureux légumes de nos vignobles.

« Depuis, chez nous, tout s'est transformé, et, côte à
« côte avec cet antique chemin, le railway gravit aujour-
« d'hui nos vieux monts, la France et la Suisse se donnent
« encore la main sur nos plateaux, mais les rails recouvrent
« les antiques ornières, le sifflet de la locomotive a fait
« taire la chanson du Grand-Vallier, et les Ingénieurs du
« XIXe siècle ont donné raison à ceux des âges anciens.

« Nos pères voyaient donc juste quand ils disaient que
« les *plis de nos Monts sont un chemin tracé de la main*
« *même du divin Créateur de la nature.* »

Autres circonstances créatrices des diverses voies de transport et de leur classification.

En dehors des circonstances particulières qui s'appliquent aux voies de transports, soit à travers des massifs montagneux et des plaines qui les avoisinent, soit sur leurs lisières, il en est d'autres qui résultent de la nécessité du mouvement d'échanges occasionné par une grande abondance de produits, soit agricoles, soit industriels, soit extraits de l'intérieur du sol, tels que : combustibles, minerais, ardoises, pierres de construction ou à chaux et ciment, amendements minéraux, etc., etc.; car il faut bien que des voies de transport rattachent ces exploitations aux grandes lignes commerciales, et que ces voies de transports soient ouvertes dans des conditions diverses selon l'importance des produits à faire circuler.

C'est un chemin *vicinal* quand il ne s'agit que de réunir un petit centre de produits agricoles avec les foires et marchés du circonvoisinage; le chemin devient plus important quand les précédents n'en sont que les affluents et qu'il s'y annexe un mouvement de relations plus ou moins complexe, plus ou moins important, nécessité par des services

militaires, administratifs, judiciaires, etc. C'est ainsi que le degré d'importance des voies de communication se classe et grandit avec la masse des relations qu'ils sont appelés à desservir; or, de même que l'emplacement des centres de population a eu ses raisons déterminantes, de même le tracé des voies de transport et des points obligés dont elles ne peuvent s'écarter, s'est trouvé fixé dans des zônes de limites généralement restreintes.

C'est de cet ensemble de besoins qu'est né le réseau général moderne des voies de communication, depuis les plus minimes jusqu'à celles qu'exigent les grands courants internationaux.

Principe de l'ouverture des voies de fer latéralement aux routes nationales.

Toutes ces voies s'améliorent, se perfectionnent progressivement, et c'est naturellement sur la direction des grandes routes nationales que les chemins de fer ont dû s'établir en les y juxtaposant généralement autant que possible, et c'est en effet ce qui a eu lieu. Je pourrais cependant, sous ce rapport, et tout en tenant compte tant des difficultés du sol que des écarts admissibles par tranchées et tunnels, citer bien des erreurs commises; mais enfin le principe rationnel de cette annexion des voies de fer aux grandes routes nationales s'est fait jour, et a pu être enfin proclamé officiellement en 1875 à la tribune de la Chambre des députés, par le ministre des travaux publics (*).

Ce principe m'est apparu dès l'origine de l'établissement des voies de fer.

Je l'ai énoncé en 1838, démontré et soutenu successivement en 1841, en 1843, en 1845; puis, de nouveau en 1853, alors qu'il a concouru pour une large part au retrait de la loi de 1846 contraire à ce principe, parce qu'elle faisait sortir et éloignait de son lit définitif (vallée du Doubs)

(*) *Journal officiel* du 29 juin 1875, page 4717.

le grand courant commercial de la Méditerranée au Rhin. Enfin, je l'ai fait encore prévaloir depuis lors dans quelques discussions de tracés, au sein du Conseil général des ponts et chaussées.

Considérations restrictives.

Ce n'est pas à dire cependant, que si une grande route n'a pas encore subi toutes les *rectifications nécessaires*, pour le meilleur tracé du courant qu'elle doit desservir, la voie de fer doive se lier au tracé arriéré qui subsiste encore! non, elle doit même quelquefois, par des raisons topiques, s'en écarter dans une certaine mesure; mais, quoi qu'il en soit, ce qui précède prouve qu'il est fort utile d'étudier l'histoire des modifications successives du tracé d'une voie de transport, en même temps que les conditions à imposer au tracé nouveau, soit au point de vue des intérêts civils, soit à celui de la défense du territoire. C'est ainsi qu'on arrivera à déterminer son vrai lit, et à reconnaître que si un tracé de voie de fer abandonne forcément la route sur certains points, il faut, le plus souvent, qu'il y revienne pour s'en rapprocher ou la traverser de nouveau.

Bien que les voies de fer doivent, en général, suivre les routes nationales pour les suppléer ou les routes départementales à grande circulation quoique non encore classées nationales; ce n'est pas une raison pour croire que *toutes* ces routes ont assez d'importance pour justifier leur suppléance par une voie de fer hors-route. Souvent on ferait mieux de ne l'améliorer d'abord que par les rectifications des trop fortes pentes et rampes qui en rendent le parcours pénible et coûteux, car il ne faut pas appliquer prématurément de nouveaux auxiliaires très dispendieux à un travail qui ne l'exige pas ou ne l'exige point encore. Aurait-on jamais l'idée de bâtir une grande ville d'un seul coup et de s'imposer la perte d'intérêt et les frais d'entretien de tous les édifices construits, alors qu'il n'y aurait pas, de fort

longtemps, des habitants pour les occuper? Il vaut donc mieux perfectionner au besoin ce qui existe, ou en passer par les tramways et peut-être même préalablement par le système Lecordier. On progresse ainsi en toute sécurité, plus rapidement que par de grands à-coups et sans se priver mal à propos de ressources plus opportunément applicables à d'autres besoins. Les aspirations déçues ont même ce très grave inconvénient de faire négliger des améliorations actuellement bien justifiées et qui, réalisées à propos, eussent produit des avantages centuples des frais qu'elles auraient antérieurement occasionnés, lorsque les perfectionnements plus absolus, longtemps désirés mais ajournés, en viennent enfin à se réaliser. C'est ainsi (et j'en citerais des exemples par centaines) que des rectifications de grandes routes ont été négligées par suite de perspectives qui, vingt ans plus tard, étaient encore en espérances, alors que ces rectifications eussent produit des avantages dix fois plus considérables que la dépense qu'eût exigée leur exécution. « Un tiens, dit-on proverbialement, vaut mieux que deux tu l'auras, » et le proverbe a souvent parfaitement raison.

Vrais courants sur les fleuves et rivières.

Il me reste à dire à propos des vrais courants de transports, qu'il en existe aussi sur les rivières. J'en ai déjà parlé pour en expliquer les causes, l'origine et le développement; mais la question de leur tracé n'en est pas une, puisqu'ils existent inévitablement dans le thalweg de leurs vallées et ne varient que par les variations mêmes que les érosions des grandes crues imposent au cours de la rivière, ou par les dérivations latérales ou voisines qu'on lui fait subir.

Le flottage et la navigation des fleuves et des rivières étaient au nombre des premiers moyens de circulation qui aient été pratiqués de temps immémorial; c'est ainsi que

l'histoire ancienne nous apprend que *la Saône* était la grande voie de la Gaule antique, dont les Séquanes disputaient courageusement la possession aux Éduens.

La navigation sur le Rhône, sur la Seine et sur bien des cours d'eau moins considérables remonte aussi à la plus haute antiquité, et peut se classer encore aujourd'hui, non moins qu'alors, au nombre des grands courants commerciaux de la civilisation moderne; aussi, d'après mon opinion, est-il regrettable que dans l'établissement des grandes voies de fer on n'ait pas exigé qu'elles *fussent liées aux voies navigables* pour constituer des *voies mixtes et doubles*, plus importantes que chacune d'elles considérée isolément. C'est un point sur lequel je reviendrai et insisterai.

Transit. — Conditions de son déplacement.

C'est sur les *vrais courants de circulation* déterminés par les causes naturelles et immuables, telles que je les ai plus haut définies, que s'accumulent à la fois le *trafic de parcours partiel* et le *transit*, qu'il est souvent ruineux et difficile de vouloir séparer l'un de l'autre.

En tous cas, le *trafic local*, je le répète, *ne peut absolument pas se déplacer !*

Il n'en est pas de même *du transit* de plus ou moins long parcours; car il ne reste pas toujours fidèle au parcours partiel auquel il est, à l'origine, intimement lié; on peut l'en séparer en effet pour le faire passer sur un *déversoir* de dégagement d'un grand courant; mais seulement lorsque ce dernier est devenu considérable, ce qui est très rare, et encore faut-il qu'il trouve sur la nouvelle direction qui le conduit à son but, des conditions avantageuses, soit d'abréviation de parcours, tout égal d'ailleurs, soit d'organisation, de puissance et de facilité de locomotion, de courbures et de déclivités dans le tracé, c'est-à-dire un ensemble de circonstances qui exigent moins de

travail et moins de coût pour le transport, soit à grande, soit à petite vitesse.

Néanmoins, lorsque la nature de la voie est la même, il est, à vrai dire, généralement nécessaire, pour réaliser l'économie cherchée dans le prix de transport, que le parcours partiel puisse devenir, sur le nouveau tracé, un *appoint* pour le plus ou moins *complet chargement* des véhicules et des convois.

Les conditions de déplacement deviennent plus impérieuses, plus décisives si la nouvelle voie doit réaliser par *sa nature* des avantages relativement considérables sous divers rapports; c'est ainsi qu'il est tout naturel qu'un trafic de *transit* qui serait aujourd'hui desservi par un roulage sur essieux par voie de terre, où la résistance à la traction est beaucoup plus considérable et la puissance de traction beaucoup plus faible, abandonne celle-ci pour une voie de fer, alors même qu'il en résulte un allongement très sensible, même considérable, dans le parcours.

Discussion spéciale de deux des conditions de déplacement d'un transit.

Nous venons d'indiquer les conditions et circonstances qui peuvent déterminer le déplacement d'une circulation de *transit* entre deux points extrêmes reliés par deux voies de communication.

Parmi ces circonstances et conditions, il en est deux sur lesquelles je crois utile d'insister, je veux parler, en premier lieu : de la différence entre les deux voies de même nature, *du nombre et de l'importance des courbures et déclivités.* Cette différence peut être telle que la même locomotive pourra, sur l'une, traîner par exemple 40 wagons, tandis qu'elle ne pourra en traîner que 20 sur l'autre, au point que pour y faire circuler des trains à chargements aussi complets que sur l'autre, il faudra double dépense en outillage, en combustible et en personnel.

La seconde condition dont je veux parler, c'est celle du *plus ou moins de transports à effectuer journellement*, de sorte que si, même sur une ligne à faible pente et plus courte que l'autre, les chargements ne peuvent se compléter et ne s'élever, par exemple, qu'à moitié charge, la dépense par unité de trafic sera double comme dans l'autre cas.

Il résulte de ce qui précède qu'il faut *beaucoup se méfier*, en fait de transport par voie de fer, de *la comparaison exclusive des distances*, bien qu'il n'en soit pas de même à beaucoup près sur les routes.

La condition des chargements plus ou moins complets n'y a pas une très grande influence (malgré la différence des frais de conduite), même sur les tramways où le nombre des moteurs est proportionné à la quantité de transports à effectuer; mais elle est très considérable, quand il s'agit de voies de fer hors-routes, parce que les moteurs de transport ne peuvent pas se subdiviser comme sur les routes.

Je tiens à énoncer ici, aux points de vue qui précèdent, les résultats des calculs précis d'un homme des plus compétents et des mieux renseignés sur les voies de fer de notre région de l'Est, entre Besançon et Lyon.

Bien que celle par le pied du Jura ne soit pas affectée de fortes pentes puisqu'elles ne dépassent pas 15 millièmes, il n'en est pas moins parfaitement exact que la locomotive, qui ne peut remorquer sur cette ligne qu'un train du poids de 400 tonnes, peut en remorquer un de 540 tonnes par la ligne de Châlons-Dôle et *pour la même dépense*, bien que cette dernière soit de 15 à 16 kilomètres plus longue que l'autre; et si l'on veut comparer entre eux deux tronçons de moins d'étendue dans des conditions techniques de tracés dont les différences sont plus accentuées, comme entre Dôle et Chaussin d'une part, Lons-le-Saulnier et Mouchard de l'autre, on trouve que, sur ce

dernier intervalle, la même locomotive qui traînera 230 tonnes, pourrait en traîner 565 sur l'autre ! Cette puissance de traction locomotrice s'abaisse plus encore, lorsque les pentes s'élèvent de $0^m,005$ à $0^m,030$! (*).

Quant aux voyageurs et marchandises légères et précieuses, l'influence des pentes est assurément bien moins sensible ; mais il peut y avoir sur une ligne des *trains express* qui n'existent pas ou pas encore sur telle autre, et cette circonstance peut concourir à créer des avantages de moindre durée de trajet par une ligne plus longue que par une autre qui l'est moins ; en voici un exemple pris sous nos yeux :

Il n'y a pas avantage à passer par Dôle et Châlons pour se rendre de Besançon à Lyon, attendu que les trains qu'on pourrait prendre à Châlons, sont les mêmes que ceux qu'on peut atteindre à Dijon par Auxonne; on pourrait cependant croire qu'en raison du détour de plus de 50 kilomètres à subir en passant par cette dernière ville, la durée du trajet par Lons-le-Saunier sera notablement plus courte ; eh bien ! c'est le contraire, car la durée du trajet par Dijon est de 10 heures par *train-omnibus*, et de $8^h,21'$ par les *trains express ;* tandis qu'elle varie par le pied du Jura de $9^h,05'$ à $10^h,11'$ et est en moyenne de $9^h,13'$, ce qui tient à ce que la vitesse des trains par le Jura n'est que de 40 à 45 kilomètres, tandis qu'elle est de 45 à 70 kilomètres par la ligne de Dijon (**). On pourrait citer un grand nombre d'autres exemples analogues.

(*) Sur de telles déclivités (0,03) les difficultés et la dépense s'élèvent sensiblement, à moins que la rampe à franchir ne se trouve à la sortie d'une gare où le service exige en tous cas la réserve d'une locomotive en feu qu'on peut, sans augmentation sensible de frais, employer momentanément comme renfort sur ladite rampe. En rase campagne avec des contrepentes de 0,03, il faut en venir, pour les marchandises, aux lourdes locomotives à trois essieux couplés ou à deux locomotives, une d'avant et une d'arrière.

(**) Le conseil général du Jura avait, à plusieurs reprises, réclamé l'établissement d'un train express par le pied du Jura. Il y aura lieu

Danger des perspectives hasardées, désastres occasionnés par ces perspectives.

Comment croire, en présence de ces documents et de cette diversité de résultats, qu'on puisse tracer des voies de fer *au sentiment*, et se rendre compte du trafic qu'on obtiendra sur tel ou tel tronçon de ligne, alors qu'on ne se met sous les yeux qu'une carte *plane*, et que l'on ne compare, d'une ligne à une autre, que les *distances à parcourir*, bien qu'il s'agisse de traverser sur l'une d'elles des montagnes élevées et accidentées et de n'avoir à y desservir qu'un faible trafic !

Est-il raisonnable de s'abandonner, sans études préalables *variées et approfondies*, à des visées de concurrence illusoires ou à des perspectives à perte de vue, en comptant en faveur d'une ligne qu'on indique et qu'on prolonge au loin selon sa fantaisie, les relations supposées existantes entre des points situés, non pas seulement aux points extrêmes opposés de nos frontières; mais de l'Europe elle-même! Enfin, faut-il faire valoir, en quelque sorte comme décisives, des considérations stratégiques locales qui exigent une étude spéciale, quand personne n'est là qui ait été à même de la faire, et par conséquent de les discuter ou contredire ?

C'est cette manière de procéder, en matière de tracés et de constructions de chemins de fer qui a amené de tristes résultats en France et dans d'autres pays : en Angleterre d'abord, puis aux États-Unis : des crises funestes accompagnées de *graves et incalculables* désastres !

---

d'insister ! on ne pourra pas objecter les déclivités de 0m,015 qui, malgré leur inconvénient, n'empêcheront pas d'opérer une réduction très sensible de durée du trajet; puisque, sur le Franco-Suisse, les fortes pentes de 0m,02 et 0m,025 n'ont pas empêché les trains express sur Neuchâtel et Berne, quoique cette ligne n'ait qu'une voie. L'établissement d'une seconde voie qui est prochain justifiera *à fortiori* les trains express entre Belfort et Lyon ; sans préjudice, au contraire, pour l'accroissement du parcours partiel.

Influence de l'annexion d'un transit à un courant et de son déplacement.

Je n'ai rien dit encore de l'influence que l'*annexion d'un transit* sur une voie de transport ou son *déplacement* exerce sur celle-ci et sur les localités qu'elle traverse.

De prime abord, on peut croire qu'un courant de voyageurs et de marchandises de long parcours ne réalise aucun avantage en faveur des localités où il ne fait que *passer ;* ce serait une erreur, par la double raison que, s'il nécessite un plus grand nombre de trains, ou si seulement il complète ceux qui y circulent, il résulte toujours de l'une ou de l'autre de ces deux circonstances plus de fréquence et de moindres frais de locomotion pour l'unité de transport : voyageurs et tonnes de marchandises. Il faut remarquer aussi, quoique cela soit bien moins important, qu'il y a arrêt, mouvements et modifications de trains sur les points commerciaux ; et qu'il y a aussi, comme conséquence : utilisation d'un personnel plus nombreux et consommation plus considérable des produits locaux par les voyageurs même en transit. Ajoutons qu'il peut en résulter aussi la nécessité de trains express que le parcours local ne saurait justifier, mais dont il peut se servir entre les points où ils s'arrêtent.

En définitive, le *transit a pour résultat de nécessiter des améliorations dans le service de la voie qui devient ainsi, par cela même, une voie plus parfaite que dans le cas contraire.*

Il est dès lors évident, que chaque localité profite, pour ses relations avec toutes les autres, de la puissance et du moindre prix par unité de trafic, des trains qui circulent sur la voie qui passe sur son territoire, et que par conséquent, sa population, son commerce, ses industries ne peuvent manquer d'en recevoir un développement ou un accroissement plus ou moins sensibles.

Si, au lieu de s'accroître, le transit qui existe sur une

voie de communication vient à disparaître et à être déplacé et reporté sur une autre voie de communication entre les points extrêmes où ces deux voies se rejoignent, il n'est pas contestable qu'il en résulte, sur la zône de la direction abandonnée, un amoindrissement plus ou moins considérable dans les moyens généraux de transport, et par suite, une inévitable et plus ou moins sensible dépréciation dans les valeurs mobilières et immobilières, commerciales et industrielles, qui avaient pris naissance ou s'étaient développées sous l'empire du régime antérieur.

Question des têtes de lignes.

C'est en ce moment le cas de discuter le prétendu avantage pour une localité d'être *tête de ligne.*

Qu'est-ce qui profite à une localité? N'est-ce pas *le mouvement de ses affaires propres*, *sa clientèle*, c'est-à-dire l'affluence plus ou moins considérable des voyageurs qui y débarquent et y stationnent pour leurs affaires? Or, si une affluence de cette nature s'est décuplée, par exemple, sur la direction d'où une voie de fer arrive à cette localité, il est indubitable qu'un accroissement analogue lui arrivera du côté où cette voie doit se prolonger, et qu'en conséquence elle retirera un avantage plus ou moins semblable au premier à ce que ce prolongement s'exécute, et en tout cas à devenir ainsi par rapport aux affluents latéraux *tête de deux lignes* au lieu *d'une seule*. En un mot, plus *il y aura de voies convergentes et divergentes par rapport à une localité, plus ses relations propres s'agrandiront, et plus la localité prendra de développement dans tous les modes d'activité qui lui sont propres.*

Ce n'est pas à dire, bien entendu, qu'il serait raisonnable dans le prétendu intérêt d'une localité, d'en faire partir plusieurs voies de fer sur des directions où la circulation n'a pas et ne pourra pas de longtemps ou jamais obtenir l'importance nécessaire pour en justifier l'établissement.

Question de contiguïté ou d'indépendance des voies de fer et de navigation.

Ici peut se placer la question de *contiguïté* ou d'*indépendance*, sur les grands courants qui le comportent, des voies de fer et de navigation. Sa solution n'a jamais été dès l'origine, dans mon opinion, l'*objet du moindre doute*; sinon au point de vue de l'intérêt des compagnies concessionnaires des chemins de fer (et encore !......) à celui, du moins, de l'*intérêt général.*

En effet, sur la carte annexée à un ouvrage publié en 1841 (*) et sur laquelle étaient tracées les voies de fer projetées ou en perspective entre la Bourgogne, la Franche-Comté et l'Alsace et maintenant ouvertes depuis longtemps à l'exploitation, j'avais indiqué qu'*à tous leurs points de rencontre avec les voies navigables devaient être établis de faciles moyens de transbordement d'une voie sur l'autre.*

J'ai insisté sur ce point dans mon travail de 1873 (**), page 23 comme il suit :

« Il me paraît à propos d'insister sur un principe que « *je considère comme enfin admis* : je veux parler de celui « de la *connexion à réaliser entre les voies navigables et les* « *chemins de fer.*

« Nous n'en sommes plus en effet, depuis quelques « années, au temps où les Chambres et les Conseils dépar- « tementaux proscrivaient les canaux, malgré les protesta- « tions énergiques de l'administration et du Conseil « général des Ponts et Chaussées, pour ne viser exclusive- « ment qu'à l'établissement de voies de fer. Tout le monde « admet parfaitement aujourd'hui que ces deux natures « de voies de transport ont des rôles distincts, et qu'ils se

(*) *Études de chemins de fer*, in-4° Besançon 1841. Introduction, imprimerie Saint-Agathe, aîné.

(**) Étude sur les voies de transport, au double point de vue des intérêts civils et de la défense du territoire.

« complétent mutuellement sur les lignes à grand courant « d'hommes, de colis et de marchandises, les unes lourdes « et encombrantes, les autres légères et précieuses. »

C'est l'opinion que j'émettais en 1840 et que je motivais en 1853 pour la ligne du canal du Rhône au Rhin et du chemin de fer de Dijon à Mulhouse par la vallée du Doubs, dans une notice spéciale accompagnée d'une carte où les points de transbordement d'une voie sur l'autre étaient indiqués, et dont les conclusions se résumaient dans ce principe:

« Que les canaux et les chemins de fer reliés par des « moyens de transbordement, constituent par leur union « au profit des intérêts généraux du commerce *une voie « double et mixte de circulation plus complète que chacune « d'elles considérée isolément.* » Ce qui signifiait que les chemins de fer devaient autant que possible être établis dans l'intérêt général, latéralement aux canaux et *vice versâ.*

« Il s'est d'ailleurs produit un fait très remarquable sur « les grands courants où il existe, pour ainsi dire accolés « l'un à l'autre, un canal et un chemin de fer.

« La première année de l'ouverture des chemins de fer, les canaux ont perdu presque toute la partie de leur tonnage correspondante aux marchandises les plus chères et les plus susceptibles d'avaries, de déchets, de pertes d'intérêt, etc. ; mais la facilité de la circulation par voie de fer a non moins rapidement occasionné un accroissement très sensible de trafic en matières lourdes sur la voie d'eau au point que celle-ci n'a pas tardé à reconquérir son tonnage primitif qui, depuis, n'a jamais manqué de subir des fluctuations corrélatives avec celles qui se sont produites sur le chemin de fer latéral. J'ai constaté ces faits d'une manière irrécusable sur les deux grands courants de Paris à Strasbourg et du Rhône au Rhin, où canaux et voies de fer se touchent et se croisent sur un grand nombre de points. »

« Le principe sus-énoncé est donc aujourd'hui confirmé

par ces faits ; il l'est encore par les considérations suivantes :

« Les voies navigables ont à subir les chômages et interruptions dues aux gelées d'hiver, aux sécheresses et aux grandes crues d'automne et de printemps, et souvent aussi à la nécessité de certains travaux de réparation ; il est donc tout naturel que les transports qui, par économie, ont préféré la voie d'eau à la voie de fer puissent, lorsqu'ils sont surpris dans leur marche par ces incidents, atteindre leur but *par des moyens de transbordement organisés le mieux possible d'une voie sur l'autre.*

« N'est-il pas du reste parfaitement rationnel que les voies navigables communiquent avec les voies de fer comme les routes avec les unes et les autres. C'est donc à bien juste titre que le principe doit être aujourd'hui considéré comme irrévocablement admis. » Rien de plus à dire aujourd'hui.

Courants de circulation internationale.

Il nous reste à consacrer quelques lignes au cas particulier où les voies de communication, au lieu de n'être appelées à desservir que des relations *intra*nationales, sont destinées aux relations *inter*nationales.

Chaque peuple, dans la circonscription de la limite de ses frontières, a, peu à peu, constitué son unité par le développement des échanges de centres à centres de population.

Les peuples voisins, séparés par des obstacles plus ou moins difficiles à franchir, ont procédé de la même manière, pour faciliter chez eux, centres à centres, le transport des hommes et des choses.

Il en est résulté qu'à un moment donné, il a fallu établir entre eux des voies de communication d'abord imparfaites, puis successivement perfectionnées et reliant entre eux les centres les plus importants dans chaque périmètre national, en traversant, autant que possible aussi, les centres intérieurs les plus importants sur la direction de la voie à établir.

Cas de frontière maritime.

Lorsque celle-ci aboutit à une *frontière maritime*, la circulation sur mer commence à être mise en activité par les points du rivage les plus propices par la nature des lieux, à l'arrivée, au départ, au débarquement et au stationnement des embarcations ; mais à mesure que les relations de toutes natures se développent sur un parcours de plus en plus lointain, et que les navires se perfectionnent, les ports maritimes s'améliorent aussi par des digues qui resserrent, allongent et rendent praticables avec plus de sécurité, les goulets ou chenaux qui les relient à la pleine mer, puis par de grands travaux intérieurs qui rendent possibles ou facilitent les diverses branches du service des transports maritimes.

Frontières continentales, sols plats et peu accidentés.

Lorsque les frontières sont *continentales*, les limites peuvent être tracées, soit en pays plat comme dans le Nord entre la Manche et l'extrême Nord jusqu'aux Ardennes (de Dunkerque à Avesnes) ; ou à travers des régions peu accidentées plus ou moins larges qui existent entre des chaînes de montagnes ou des fleuves qui traversent la limite des frontières.

Telles sont : la trouée *de la Sarre*, entre les beaux escarpements jurassiques de la rive gauche de la Moselle (de Nancy à Metz et Thionville) et le prolongement de la chaîne des Vosges de *Phalsbourg* à la *Petite-Pierre* et à *Bitche*.

Telle est aussi la *plaine du Rhin* entre ce fleuve et la ligne de faîte de la chaîne précédente.

Le tracé des routes, canaux et chemins de fer, n'offre, dans ces passages, aucunes difficultés sérieuses ; il en est à peu près de même des cols largement ouverts sur les faîtes limites de quelques-unes de nos frontières, tels que :

la *trouée du col de Saâles*, entre la Brusche et les affluents de la Meurthe ; et *la trouée de Belfort* ; l'ouverture des voies de communication n'y offre aucune difficulté réelle, sauf pour les routes et chemins de fer l'ascension des versants d'ailleurs fort peu abruptes, et pour les canaux, l'alimentation du *bief de partage* par dérivation des cours d'eau supérieurs et par réservoirs.

Dans tous les cas précédents où les limites-frontières sont tracées sur de larges passages, il n'y a qu'à se préoccuper d'y établir des forteresses ou camps retranchés pour la défense du territoire.

Cas de limites frontières par un fleuve.

Si la limite de la frontière est un fleuve, il faut bien, pour le franchir, y procéder comme dans l'intérieur du périmètre national, sauf, eu égard aux nécessités défensives, que les ponts fixes ou ponts de bateaux ne soient établis, avec leurs fortifications nécessaires, que de loin en loin, comme sur le Rhin où il n'en existait qu'un seul à Neuf-brisach depuis Bâle jusqu'à la frontière près de Carlsrhue.

Limites frontières par massifs montagneux.

« Enfin, reste le cas où la frontière est limitée comme sur plusieurs points de son périmètre par un massif montagneux d'une grande largeur et à hautes altitudes.

« Les passages internationaux y sont restés rares comme sur les grands fleuves ; c'est ainsi qu'il n'en existe à l'heure qu'il est, à travers les monts Jura, depuis la limite suisse du Porrentruy jusqu'à Genève, que *cinq* principaux ; mais qui ont été, il est vrai, munis de bonnes routes (*).

(*) Passages principaux déjà désignés : 1° de Morteau-Locle, 2° les Verrières, 3° de Jougne; (en arrière de ces deux passages, côté de France, se trouvent la ville de Pontarlier et les deux forts de Joux et

Résultats économiques de l'ouverture des routes à travers ces massifs.

« Ces voies de communication, quoique tracées d'abord au point de vue *international*, n'en ont pas moins été la cause première de la création, ou tout au moins du développement des centres de population existant sur leur parcours, ainsi que d'industries et de mouvement d'échanges en rapport avec la nature et les circonstances des lieux traversés.

« Les voies de fer étant plus difficiles et plus coûteuses à établir que les routes, n'ont d'abord été construites et ouvertes qu'en évitant la traversée des plus larges et des plus hautes montagnes, c'est-à dire en subissant les détours nécessaires pour passer par les coupures de fond (cluses) qui existent à leurs extrémités; c'est ainsi que se sont ouvertes sur la Suisse, par la coupure où passe le Rhin à Bâle et par celle où passe le Rhône à l'aval de Genève, les deux premières voies de fer qui, par leur puissance et leur vitesse de transport, ont, malgré leurs détours, enlevé aux routes internationales précitées le transit et les services de véhicules dont elles étaient en possession.

Conséquences désavantageuses pour les centres de population abandonnés; il y a équité à y tracer des voies de fer devenues possibles.

« Qu'est-il résulté de là ? que les centres de population d'industries et de commerce développés sur le tracé de ces grandes routes des cinq passages plus haut désignés, ont tout naturellement plus ou moins souffert dans leur développement, de l'infériorité des moyens restés, il est vrai, mais très amoindris, à leur disposition. Il y avait là une

du Larmont), 4° passage de Saint-Cergues, et 5° de la Faucille; (près de la croisée des routes qui se dirigent vers ces deux derniers passages existe le fort des Rousses.)

dépréciation dont il fallait tenir compte ; et, en effet, du moment où un progrès considérable s'est réalisé dans l'art d'ouvrir et d'exploiter des chemins de fer en pays accidenté, et que de grandes facilités ont été admises dans les conditions techniques de leur tracé, on en est naturellement venu à vouloir rendre aux centres populeux et industriels des contrées montagneuses, en même temps qu'aux relations internationales, les facilités de parcours dont elles avaient été privées.

« Cela s'est fait sur quelques points, et est en train de se réaliser sur d'autres.

Applications nouvelles de ce principe.

« Dans nos monts Jura, sur les cinq passages de la frontière, depuis le Porentruy jusqu'à Collonge-Bellegarde sur le Rhône, *deux* seulement sont aujourd'hui dotés de chemins de fer ; ce sont ceux : des *Verrières* et de *Jougne* dans le département du Doubs.

« Les deux lignes qui y passent se bifurquent sous les forts de Joux et du Larmont à l'est de la ville de Pontarlier, et la voie de fer qui aboutit de Dôle à cette ville se développe dans le voisinage de la limite des deux départements et leur est avantageuse à l'un et l'autre ; mais celle *de Morteau-Locle-Chaux-de-fonds* qui est en cours d'exécution, traverse exclusivement le département du Doubs dans sa partie centrale, et l'embranchement (23 kilomètres) qui s'y soudera pour unir Besançon à Pontarlier ne tardera pas non plus à se faire.

« En effet, la jonction en voie de fer de ces deux villes est parfaitement justifiée par le trafic qui lui est assuré (*), et par sa double utilité stratégique comme *ligne radiaire*

(*) Comme on peut le voir dans les derniers paragraphes de mon susdit rapport du 8 septembre 1855 (Volume Conseil général du Jura, page 460) et d'une manière détaillée dans mon rapport officiel antérieur du 8 juin même année.

sur un point important de la frontière, et comme *latérale* à un excellent *obstacle défensif transversal* : la profonde *vallée de la Loue.* »

Le chef-lieu du Doubs jouira donc dans un prochain avenir, et à juste titre il faut le dire, de quatre entrées en Suisse, savoir : 1° par Montbéliard et Delle ; 2° par Morteau et le Locle ; 3° par Pontarlier et les Verrières ; 4° par Jougne.

« Dans le département de l'Ain, l'embranchement de Bourg à Nantua se poursuit activement sur Bellegarde, et va constituer, à travers ce département, une *seconde* ligne en faveur de Bourg sur Genève et la Savoie ; or, les routes que cette nouvelle ligne doit suppléer, ainsi que celles de Besançon sur Morteau, Pontarlier et Jougne, *n'ont jamais eu l'importance de premier ordre de celle internationale n°* 5 (de 1re classe) *de Paris à Genève*, par Dijon, Auxonne, Dôle (*), Champagnole et Morez.

Il serait donc temps qu'une voie de fer vînt rendre à la direction de cette route, non pas dans un intérêt *restreint*, mais bien *général* et *très étendu*, son importauce politique, administrative, stratégique, commerciale et industrielle.

Les mêmes considérations s'appliquent à d'autres grandes routes à travers d'autres massifs montagneux de nos frontières ; c'est ainsi que l'exécution de plusieurs projets de chemins de fer à travers les Vosges était résolue, mais a été suspendue par les tristes résultats de la guerre de 1870-71 ; il en reste encore à exécuter aussi quelques-unes à travers les Alpes, les Ardennes, etc.

Réserve nécessaire du calcul des conditions économiques et financières.

Il est bien entendu toutefois qu'il n'en faut pas moins, dans tous les cas qui précèdent, démontrer, à la fois

(*) La vallée de la Cuisance était et est encore le vrai tracé de cette route entre Dôle et Champagnole.

par des analogies prises dans les faits antérieurs, et par des documents et des motifs rationnels et précis, que *plus rien ne peut désormais être valablement opposé sous aucun rapport à l'ouverture de ces lignes*, en un mot : que le moment est venu de les mettre à exécution.

Il faut le reconnaître, cette démonstration est *nécessaire* par la raison que lorsqu'il s'agit d'une œuvre *dispendieuse*, ce n'est pas le cas de céder à un seul point de vue de la question, ni de se laisser entraîner par le côté sentimental qui *paraît* en provoquer et en justifier suffisamment la réalisation.

Il faut encore établir clairement par l'étude et par l'appréciation de renseignements recueillis sur les transports à effectuer et, s'il y a lieu, par l'étude militaire, *que cette réalisation sera profitable en proportion des travaux et des dépenses qu'elle nécessitera*, et, dans tous les cas, qu'elle *doit prendre rang avant telle ou telle autre* ?

Cette réserve de prudence est impérieuse ; exemples et antécédents qui le prouvent.

C'est là un principe de prudence qui doit s'appliquer non seulement au cas qui précède, mais encore aux *vrais courants* naturels de circulation dont j'ai précédemment fait connaître les caractères, attendu qu'un tel courant peut n'avoir pas encore acquis une importance suffisante pour déterminer l'établissement d'un chemin de fer *hors-route*.

Il peut y avoir alors des améliorations raisonnables à exécuter sans vouloir viser à une œuvre trop grandiose pour le temps et les circonstances où l'on se trouve ; on peut commencer par rectifier les rampes fortes d'une route, en perfectionner la chaussée, en venir même à y établir un tramway. Ces ouvrages, loin de compromettre, prépareront et accéléreront les perfections de l'avenir, tout en réali-

sant des avantages parfaitement rémunérateurs des travaux et des dépenses qu'on y aura consacrés (*).

Il y a donc nécessairement *autre chose à faire que des dissertations sommaires sur les questions à résoudre ;* il faut encore, en ce qui concerne les voies de fer, bien se rendre compte de la valeur *réelle, effective de la circulation existante et de l'accroissement que la nouvelle voie pourra y réaliser !*

Voici quelques faits de nature à faire voir qu'on ne saurait se soustraire à cette indispensable condition de succès.

Dans mon premier mémoire (publié en septembre 1838, sur les chemins de fer à ouvrir dans notre région de l'Est) j'avais déjà signalé les conditions déterminantes d'un tracé par le pied du Jura ; elles le furent encore avec plus de précision et de développement dans mes projets de 1840-41.

En décembre même année, et janvier 1842, toute la lisière du Jura prit part aux enquêtes ouvertes sur ces projets qui comprenaient sommairement celui de Besançon sur Lyon par Arbois, Poligny, Lons-le-Saulnier et Bourg.

En 1844, les mêmes faits se renouvelèrent sur les études plus complètes faites en 1843-46 dans le Jura par les ingénieurs du département et par M. Polonceau.

Toutes les considérations développées en ces circonstances, en faveur de la voie de fer telle que nous la possédons, étaient assurément frappantes de vérité, et pourtant elles n'ont pas suffi !..

Il a fallu les appuyer par de nombreux documents sur le *trafic local* et *de transit*, et c'est dans ce but qu'en 1846, 1847 et 1853 des comités furent organisés sur toute la zône qui s'étend de Besançon à Lyon, de chaque côté de la route nationale 83, pour recueillir et produire des statistiques économiques, industrielles et commerciales sur les

(*) Pour le tramways (fer sur route) presque rien n'est perdu.

points prévus pour l'établissement des stations sur cette ligne (*).

C'est à l'aide de ces documents que j'ai pu rédiger en 1854, deux mémoires où j'ai concentré l'exposé des bases les plus essentielles, et sans contredit, les plus décisives en faveur du tracé exécuté.

Les crises financières des grandes compagnies ont fait ajourner l'ouverture des travaux jusqu'en 1859 ; c'est en raison de ces retards que nous fûmes obligé de reproduire encore un nouveau mémoire récapitulatif des précédents et transformé en délibération par le Conseil général dans sa séance du 31 août 1858 (**).

La ligne ouverte de Dôle sur la Suisse par Pontarlier n'a pas exigé moins d'études techniques et économiques ; il a fallu mettre en comparaison toutes celles antérieurement faites à ce double point de vue, de Besançon à Morteau et le Locle d'un côté, et sur Pontarlier, les Verrières et Jougne de l'autre ; puis de Dôle, soit par le tracé qui a été exécuté, soit par d'autres encore, mis en parallèle avec ce dernier.

J'ai résumé toutes ces études dans un énorme mémoire à la date du 8 juin 1855 ; on y trouve annexées, non-seulement des cartes de tous les tracés possibles de Dôle en Suisse ; mais encore au point de vue économique et commercial et à l'appui des calculs du résultat financier de l'exploitation selon ces tracés, d'autres cartes figuratives par des bandes multicolores des différentes natures de circulation qu'auraient à desservir les voies de fer suivant chaque tracé étudié.

Une partie de ces dernières cartes a même été publiée en 1855-56 à l'appui de la délibération précitée du conseil

---

(*) J'ai été particulièrement secondé dans ce travail par le comité de Poligny.

(**) J'en ai précédemment donné un extrait pages 381-83.

général du Jura du 8 septembre 1855; que j'ai rédigée sur les bases de mon susdit travail du 8 juin précédent (*).

Voilà des exemples, et cependant ils ne sont rien encore si je les compare aux innombrables cartes et mémoires qu'il a fallu rédiger (**) pour convertir l'opinion publique et le gouvernement à l'adoption définitive du tracé de Dijon à Mulhouse par *la vallée du Doubs*; c'était cependant le seul véritablement conforme sous tous les rapports, aux grands intérêts généraux de la frontière de l'Est et des départements du Doubs et du Jura en particulier !

Voici encore deux exemples qui prouvent que, jamais il ne faut, même jusqu'à la dernière heure, se désintéresser des études économiques sur la question des tracés de voies de fer.

Le premier est relatif à celle d'entre Dijon et Besançon.

En 1854-53 cette première partie de la ligne de Dijon-Mulhouse fut concédée à la compagnie Lacroix-Bouchot et C[ie], en même temps que l'embranchement sur Salins à M. de Grimaldi.

Nous avons déjà signalé la faute commise dans le tracé de ce dernier, qu'il était rationnel de diriger par Mont-sous-Vaudrey, faute que seul et sans appui du côté du Jura, je n'ai pu parvenir à conjurer (***).

(*) Et encore faut-il dire que le Jura a été favorisé par une circonstance toute particulière que j'ai signalée en tête de mon rapport du 8 septembre 1855 (Volume Conseil général 1855, page 450.) Circonstance qui a été *décisive* pour la Compagnie de Lyon, concessionnaire éventuelle depuis 1852, d'une ligne transversale au Jura.

(**) En 1845-46, puis en 1853, indépendamment des documents et calculs détaillés dans la quatrième partie de mon volume d'études publié en 1841-42 (Besançon, imprimerie Saint-Agathe aîné.) Quatrième partie divisée en : Calculs du produit brut, frais, balance, et de la cinquième partie : Documents statistiques sur tous les éléments d'activité de circulation et de production, appelés à se développer par l'établissement du chemin de fer.

(***) J'avais même fait délibérer dans ce sens le comité central de Besançon; voici ce qu'on peut lire dans le procès-verbal imprimé (Imprimerie Dodivers et Compagnie) de la délibération de ce comité

Quant au tronçon de Dijon-Besançon, la compagnie concessionnaire était disposée, comme je l'avais été du reste moi-même à l'origine des études techniques, à adopter et à réclamer le tracé direct sur Auxonne, au lieu du passage admis en 1846 par Dôle, qui, dans ce cas, eut été desservie par un embranchement.

Je repris alors les documents statistiques spécialement relatifs à ce premier tronçon, en recueillis de nouveaux, recommençai des calculs de trafic particulièrement relatifs aux deux tracés mis en présence, et arrivai à démontrer d'une manière irréfutable, que le produit par Dôle dépasserait l'autre de plus de 4.000 francs par kilomètre.

Ce résultat décisif leva toute incertitude.

Le second exemple plus exceptionnel encore, est relatif au tronçon d'entre Dijon-Châlon de la grande ligne P. L. M.

Lorsque ce tronçon fut en état d'être ouvert à l'exploitation, la Compagnie de Lyon qui devait la reprendre de mes mains, c'est-à dire des mains de l'État, craignait que les résultats sur ce tronçon isolé, ne fussent de nature à compromettre le succès de son entreprise, de sorte qu'il fallut encore, malgré que le *chemin fût fait*, et *malgré tout ce qui*

---

du 12 avril 1854. « Le Comité de Besançon pense que pour se mettre « au niveau de l'importance que lui donnerait sa réunion à la ligne « de Bourg, le chemin de Dôle sur Salins doit, se dégageant des pré- « occupations restreintes qui ont présidé à son premier tracé, ré- « pondre plus complètement aux besoins généraux du pays. Ainsi, « au lieu d'arriver sur Dôle depuis Arc, par la Forêt-de-Chaux, sui- « vant une ligne qui n'a jamais été celle de la circulation commer- « ciale, il devra, une fois devenu embranchement de la grande voie « de Bourg à Besançon s'en détacher entre Mouchard et Poligny, pour « se diriger sur Dôle par *Mont-sous-Vaudrey* et devenir de cette ma- « nière l'agent de la circulation qui, depuis un temps immémorial se « fait de Dôle sur le Jura, par la route impériale n° 5 de Paris à « Genève. »

Ce comité est revenu énergiquement à la charge dans le même sens à propos des enquêtes sur les projets de stations de chemins de fer sur Salins, en démontrant catégoriquement qu'il était encore possible et rationnel de revenir au tracé par Mont-sous-Vaudrey : mais Lons-le-Saulnier n'a pas appuyé !

avait été dit antérieurement, que j'en vinsse à démontrer par un mémoire spécial que le trafic qui se révélerait sur ce tronçon quoiqu'isolé, donnerait largement un produit beaucoup plus que compensateur des frais d'exploitation.

C'est ainsi que fut résolue l'ouverture au compte de l'État de cette section, deux années avant celle de Tonnerre-Dijon.

On voit par les exemples qui précèdent, comme on le verrait par nombre d'autres qu'on pourrait encore citer, *combien les résolutions à prendre avant l'exécution d'une ligne, exigeaient naguère d'études* et *de controverses préalables;* et encore y a-t-il eu, sur bien des points, des fautes regrettables commises dans la détermination de certaines parties du tracé des lignes construites ; mais enfin, l'expérience a prouvé que là où tout avait été profondément étudié, aucune déception n'est survenue ; et que le contraire s'est produit là où les tracés s'étaient écartés du vrai lit des courants de circulation que les voies nouvelles devaient desservir, et avaient été fixés trop à la légère.

C'est très principalement depuis la loi de 1865 sur les chemins de fer d'intérêt local, et celle décentralisatrice de 1871 sur les conseils généraux des départements, que l'administration, quelque désir qu'elle en eût, n'a pu maintenir en pratique dans leur intégrité, ses traditions de prudente réserve, et d'études économiques approfondies pour chaque cas particulier.

Les départements ont pris des résolutions sur des considérations d'avenir souvent imaginaires, que leurs délégués venaient développer dans les Conseils du Gouvernement pour déterminer, avec le puissant appoint des pressions parlementaires, de nombreuses déclarations d'utilité publique de réseaux ou de voies de fer isolées dont l'exploitation a fait malheureusement ressortir combien leur exécution avait été inopportune et prématurée !

S'il y a eu, dans ce mouvement, quelques rares bons exemples à suivre d'études consciencieuses (comme celles

que nous avons citées dans le département de la Meurthe (*), il y en a eu malheureusement de trop nombreux *qu'il ne faut pas imiter !*

Il faudra d'ailleurs, on ne saurait trop le redire, pour toute ligne considérée aujourd'hui comme admise en principe, obtenir une ***certitude d'exécution*** et un ***bon rang de priorité*** qui n'appartiendront qu'aux mieux justifiées d'entre toutes !

Conclusions.

Que faut-il conclure de tout ce qui précède ? le voici :

1° Les vrais et indestructibles courants de circulation continentale par voie sur terre sont le résultat nécessaire des relations provoquées par le ***contraste*** de circonstances naturelles immuables de reliefs, de nature de sols, de climats et, conséquemment, par celui des produits territoriaux et industriels des régions qu'ils traversent ou relient les unes aux autres.

2° La direction des voies de communication qui desservent ces courants subit plus strictement encore, lorsqu'elle est transversale à des massifs montagneux, des ***points obligés***, et ne s'écarte que dans une mesure plus ou moins restreinte, selon les circonstances militaires, politiques et administratives de l'époque où elles fonctionnent, du ***lit définitif qui leur est destiné et dans lequel malgré bien des fluctuations elle tend à se fixer.***

3° La navigation et le flottage sur les fleuves et les

(*) Grâce à un ingénieur distingué, M. Varroy, dont j'ai souvent conseillé, comme d'excellents modèles à suivre, les applications qu'il a faites dans l'ancien departement de la Meurthe et depuis dans Meurthe-et-Moselle, de la loi de 1865 sur les chemins de fer d'intérêt local ; il est très regrettable que cet exemple n'ait pas été suivi dans les départements où cette loi était applicable, car il n'y aurait plus aujourd'hui qu'à s'occuper des départements où elle ne l'était pas ou ne l'était que moyennant des difficultés qu'il était trop difficile de surmonter. (*Cette note est antérieure à l'élévation de M. Varroy aux fonctions de ministre des travaux publics.*)

rivières qui suivent le thalweg de leurs bassins, ou ne s'en écartent que fort peu par dérivation sur l'une de leurs rives, s'y établissent et s'y développent pour faciliter les échanges commerciaux entre les régions de climats naturellement différents, qu'elles traversent.

4° Les canaux *à points de partage*, destinés à relier ces navigations les unes aux autres et entre eux les ports importants qui y existent dans chaque bassin, ne peuvent passer d'un bassin à l'autre que par tunnels ou tranchées, *sous* ou *sur* les *cols* ou *dépressions* qui existent sur les lignes de faîte séparative de ces bassins. L'importance des points de jonction dans chaque bassin est elle-même une conséquence de la position de ces points de passage.

5° Il ne faut pas, en fait de tracés de voies de fer hors-routes, croire qu'on puisse les tracer au *sentiment*, dans des directions sur lesquelles on prétend qu'il pourra survenir une circulation, soit de transit, soit de parcours partiel *qui n'y existe pas*, et que *rien de décisif ne détermine à y venir*, ou que, pour appoint, l'on dote d'une valeur stratégique apparente, au moyen de combinaisons plus ou moins improbables imaginées pour la cause.

6° Il faut, au contraire, en écartant les considérations autres que celles techniques, économiques et financières, admettre comme principale et prééminente, celle de *l'importance du trafic local, dont l'accroissement constituera l'aliment principal et inaliénable de la nouvelle voie ferrée*, à moins que celle-ci ne soit destinée à devenir le déversoir *prévu* d'un transit *parfaitement apprécié* et *calculé d'avance*.

7° Il faut lier *autant que possible intimement* les tracés des voies de fer hors-route aux courants où elles doivent suppléer les anciennes, préférer volontiers celles sur route (*), et *rattacher les unes et les autres aux voies navigables par des gares d'eau et des voies de transbordement.*

(*) Surtout au cas de peu de trafic de long parcours.

8° Se bien pénétrer que tous les raisonnements qu'on peut faire sur de ***simples comparaisons de distances à parcourir***, notamment pour le transport des marchandises, surtout de celles lourdes et de bas tarifs, et sans tenir compte avec soin de beaucoup d'autres éléments de la question à résoudre, ne peuvent conduire à ***aucune conclusion de quelque peu de certitude***, quant au déplacement d'un transit qu'on espère pouvoir opérer ou reconquérir par une voie de fer nouvelle entre deux points extrêmes que l'on considère.

9° Être bien convaincu qu'il y a pour toute nouvelle voie de fer à construire, utilité sérieuse à en connaître les antécédents et, en tous cas, ***nécessité d'une étude approfondie***, sous le rapport : 1° de la distance, des pentes, des courbes ; 2° de la circulation existante de transit, et surtout de parcours partiel ; 3° de leur accroissement respectif, en ***disséquant***, ***analysant*** chaque nature de circulation, et en ***appliquant au chiffre qui la représente des coefficients d'accroissement justifiés par l'expérience*** (*).

10° Bien croire qu'il est beaucoup moins avantageux pour un centre de population, d'industrie, etc., de rester tête de ligne d'un seul chemin de fer, que de jouir pour l'extension de ses relations de toute nature et de tous les modes d'activité qui lui sont propres du ***prolongement de cette ligne*** dans la direction du courant de circulation que ce prolongement est appelé à desservir.

11° Enfin reconnaître, lorsqu'on sera parvenu à bien

(*) Il est en outre fort à propos de représenter graphiquement, sur plusieurs cartes, au besoin, les résultats ainsi obtenus (abstraction faite des transports agricoles) par des bandes multicolores d'une largeur proportionnelle à leur importance respective, afin de rendre frappante aux yeux de tous, la valeur économique de ces résultats. Il est nécessaire aussi de corroborer ces derniers par les conséquences déduites de l'importance des populations latérales et de documents recueillis avec soin sur la production territoriale et industrielle, sur le quantum probable des exportations, etc.

démontrer, soit par l'analogie de situations semblables, soit par démonstrations conformes aux principes qui précèdent, qu'il est rationnel d'attaquer l'ouverture des voies de fer sur la direction des routes *où avaient été jadis constitués de grands courants de circulation internationale*; reconnaître, disons-nous, *qu'il est équitable et opportun d'y mettre la main à l'œuvre tout en écartant ou ajournant les lignes dont les projets ne répondraient point, par de suffisants résultats économiques et financiers, aux principes ci-devant formulées* (*).

Ces principes me paraissent tellement incontestables, que je les considère pour ainsi dire, comme des *axiomes* dont la vérité doit ressortir à leur simple énoncé.

On parvient le plus souvent à discerner, quand on s'en est écarté, les causes qui ont conduit à n'en pas tenir compte; mais alors il n'est plus temps, et j'ai pensé, qu'il était utile, pour *éviter autant que possible le retour des erreurs* antérieurement commises (**), de remettre en lumière la vérité de ces principes et la nécessité de leur

(*) « Un certain nombre de départements ont vu les concessions se « multiplier sur leur territoire, mais d'autres à peine desservis, « froissés de la situation qui leur est faite réclament à bon droit « parce qu'ils ont payé leur cote-part des subventions aux lignes anté- « rieures et de leurs intérêts. » (Extrait du rapport de la commission de classement.) C'est-à-dire qu'il est équitable de commencer par l'exécution des lignes *arriérées par circonstances exceptionnelles quoiqu'elles étaient déjà antérieurement bien justifiées.*

(**) En comprenant dans les perspectives du trafic non seulement les relations de village à village situés sur la route que le chemin de fer hors-route devra suppléer, mais encore la circulation agricole; c'est-à-dire : une partie importante du mouvement local qu'un tramway dessert; mais que le chemin de fer hors-route, et parfois *assez loin de la route*, ne peut pas desservir.

L'étude de la circulation sur les routes nationales cotoyées par un chemin de fer, prouve qu'il y existe, outre une circulation agricole et autre de voisinage, beaucoup de services de *messagers réguliers* portant de domicile à domicile les colis de localités à localités situées sur la route ou près de la route à des distances de 20, 30 et 40 kilomètres les unes des autres.

prudente application, d'autant plus généralement utile que, sauf les lignes antérieurement engagées (et encore!), et celles arriérées par circonstances exceptionnelles, toutes les nouvelles n'ont pu être rapidement inscrites dans le tableau des classements, qu'avec la perspective d'un trafic *intuitif* très aléatoire!

N° 27

VÉRIFICATION DE LA STABILITÉ DES VOUTES ET DES ARCS.

APPLICATION AUX VOUTES SPHÉRIQUES

MEMOIRE

Par M. Alfred DURAND-CLAYE, ingénieur des ponts et chaussées,
Professeur à l'École nationale des Beaux-Arts.

Exposé. — Nous avons présenté dans les *Annales* en 1867 et 1868 une méthode nouvelle pour la vérification de la stabilité des voûtes en maçonnerie et des arcs métalliques. Depuis lors nous avons apporté un certain nombre de simplifications et donné quelques extensions à notre méthode; ce sont ces simplifications et ces extensions que nous nous proposons de faire connaître sommairement aujourd'hui.

Rappel du principe de la méthode. — Nous rappellerons en quelques mots le principe de la méthode.

La stabilité des voûtes en maçonneries ou des arcs métalliques est ordinairement étudiée par voie de simple vérification : on prend la voûte ou l'arc, supposés en équilibre sous l'action d'un certain nombre de forces extérieures connues, et l'on cherche simplement, par les formules aussi bien que par les constructions géométriques, si l'hypothèse de l'équilibre est compatible d'une part avec l'intensité et la disposition des forces extérieures, d'autre part avec la

forme de la construction et la résistance des matériaux qui la composent. Encore le plus souvent cette vérification n'est-elle faite qu'en partant de données arbitraires qui seules permettent d'arriver à la solution et de sortir de l'indécision qu'entraîne forcément l'ignorance où l'on se trouve *à priori* de la répartition des réactions moléculaires dans la construction en équilibre.

C'est ainsi que dans la méthode graphique si connue de Méry, on prend arbitrairement le point d'application de la poussée à la clef et le point d'application de la résultante sur un joint. Ces deux conditions, jointes à la connaissance du poids des diverses parties de la construction et de la verticale de leurs centres de gravité respectifs, permettent de déterminer la grandeur de la poussée et par suite les diverses résultantes, dont les points d'application réunis par une courbe continue, forment la *courbe des pressions*. On vérifie si cette courbe des pressions s'éloigne assez des contours limites de la construction pour éviter l'écrasement d'une arête. Mais cette courbe, déterminée ainsi arbitrairement, ne donne aucune idée précise sur la stabilité de la construction : A-t-on choisi des données qui conduisent à une des solutions possibles? Est-on dans un cas de stabilité limite, ou au contraire a-t-on affaire à une construction admettant un grand nombre de solutions d'équilibre? Où sont les joints faibles? etc.

C'est cette indétermination que nous avons essayé de faire disparaître; nous avons cherché si l'on ne pouvait définir toutes les solutions d'équilibre, et celles-là seulement qui sont compatibles avec les données pratiques de la question, c'est-à-dire avec la résistance propre des matériaux et avec les profils et poids de la construction.

Répartition des pressions normales sur un joint; courbes des résultantes normales admissibles. —Or, lorsqu'une voûte ou un arc est en équilibre, on est parfaitement sûr qu'en aucun point la résistance pratique des matériaux n'est dé-

passée, puisqu'il n'y a ni écrasement, ni arrachement sur aucune arête, point où les efforts maxima s'exercent naturellement. On en conclut immédiatement que pour un joint quelconque, la résultante ne sort pas des profils de la voûte en admettant une résistance indéfinie, ou ne se rapproche pas assez d'une arête pour en produire l'écrasement en admettant une résistance finie. Cette dernière condition s'exprime facilement à l'aide des formules qui se trouvent dans tous les ouvrages de mécanique appliquée et qui donnent la relation entre la grandeur et le point d'application de la résultante normale des forces sur le joint, ainsi qu'entre la grandeur et le point d'application de la pression ou de la tension en un point quelconque du joint. En empruntant par exemple à M. Bresse la formule en question, on a

$$y\Omega = Y\left(1 + \frac{xX}{r^2}\right), \tag{1}$$

en appelant Ω la surface du joint,

r^2 le carré du rayon de gyration,

c'est-à-dire $\frac{I}{\Omega}$, I étant le moment d'inertie,

Y, X, la grandeur de la résultante et la distance au centre d'élasticité de son point d'application (Pl. 14, *fig.* 1),

x, y, les mêmes données pour la pression ou la tension en un point quelconque.

Si, à l'aide de cette formule on cherche l'effort exercé sur l'arête AA, on fera $x = f$, soit la distance de l'arête au centre d'élasticité. Si l'on appelle p l'effort sur l'arête, on aura :

$$p\Omega = Y\left(1 + \frac{fX}{r^2}\right). \tag{2}$$

Or, si l'on cherche toutes les résultantes normales, qui donneraient constamment en AA un effort p, on n'aura

qu'à considérer X et Y comme variables dans la formule (2). On voit de suite que les extrémités des lignes représentatives de toutes ces résultantes normales sont situées sur une hyperbole équilatère $\alpha\alpha'$ (Pl. 14, *fig.* 2), ayant pour asymptotes la ligne de joint AB et une normale Uy menée à une distance OU du centre d'élasticité égale à $-\frac{r^2}{f}$.

Si p est l'effort limite d'écrasement, admissible sur l'arête AA, l'hyperbole en question limitera toutes les résultantes normales *admissibles*, telles que N, c'est-à-dire celles qui ne feront pas dépasser en A la limite d'écrasement. On sait avec quelle facilité se trace une hyperbole équilatère, une fois qu'on en connaît un seul point et les asymptotes; on a immédiatement le point o situé sur la normale passant par le centre d'élasticité; car on a $Oo = p\Omega$ (répartition uniforme de l'effort limite); on aurait, du reste, un second point aussi facilement, en prenant l'abcisse égale à $+\frac{r^2}{f}$, ce qui donnerait l'ordonnée $\frac{p\Omega}{2}$, moitié de la précédente. Pour un point, symétrique par rapport à O, cette dernière ordonnée et le pied de l'abcisse normale se trouvent précisément à la limite du noyau central, c'est-à-dire, aux points où le joint cesse d'être entièrement comprimé, les tractions commençant à se manifester pour toute résultante dont le pied dépasserait ces limites. Dans une section rectangulaire ces deux points sont situés au tiers du joint. Enfin, lorsqu'on n'admet pas de traction possible, ainsi que cela se pratique ordinairement dans les voûtes maçonnées, la branche $m\alpha$ de l'hyperbole n'est plus applicable à partir de l'ordonnée Mm, située à la limite du noyau central (*fig.* 3) et doit être remplacée par une ligne mA, se raccordant en m avec l'hyperbole et se terminant en A, à l'extrémité du joint. Cette ligne est une droite dans le cas d'une section rectangulaire. C'est le lieu des ordonnées limites Mm prises pour les diverses surfaces

rectangulaires, qui restent seules pressées et pour lesquelles on admet une répartition identique à celle qui a lieu sur le joint complet, lorsqu'il est comprimé sur sa surface entière (*).

Il est évident que le raisonnement fait en partant de l'arête AA aurait pu se faire en partant de l'arête BB et

---

(*) Dans le cas usuel d'une section rectangulaire, telle qu'elle se rencontre dans une voûte en maçonnerie ou un mur, la courbe limite des pressions normales admissibles peut être déterminée directement sans passer par la théorie et les formules générales; nous avons eu plusieurs fois l'occasion de présenter la question sous cette forme à nos agents des ponts et chaussées ou à nos élèves de l'École des beaux-arts.

Nous rappelons simplement que l'hypothèse fondamentale de la résistance des matériaux, c'est-à-dire la déformation plane des sections, conduit à admettre que sur un joint donné les pressions ou tensions croissent uniformément entre les deux arêtes du joint, et sont représentées par conséquent par une ligne droite sur laquelle viendraient aboutir les extrémités des lignes représentatives de leur intensité. Si par suite on admet sur une arête a une pression p constante par unité de surface, les lignes représentatives des diverses répartitions des pressions ou tensions seront une série de droites passant par l'extrémité de ligne représentant p. En particulier, si la pression limite se réalise sur toute la surface du joint, les pressions aux divers points seront limitées par une parallèle $a'b'$ au joint (*fig.* 30, Pl. 15); la résultante passera au milieu du joint, et aura pour valeur $p\Omega$, Ω étant la surface du joint, et sera mesurée par la surface du rectangle $aba'b'$. Si l'arête b n'est plus soumise à aucun effort, les pressions seront limitées (*fig.* 31) à une droite passant par b; la résultante sera appliquée au tiers du joint, étant représentée par la surface du triangle $aa'b$ et ayant par suite pour valeur $\frac{p\Omega}{2}$, soit la moitié de la première résultante.

Pour un cas intermédiaire entre les deux précédents, les pressions seront limitées par une droite passant toujours par a'; la surface équivalente à la résultante deviendra le trapèze $aa'bb'$ (*fig.* 32). La résultante passera au centre de gravité de ce trapèze et aura pour valeur $Y = \frac{p+y}{2} l$, en appelant l la longueur du joint, p l'effort limite aa', y la pression bb' sur l'arête b. — Appliquant la construction connue qui donne le centre de gravité du trapèze, c'est-à-dire portant $a'g = bb' = y$; $bh = aa' = p$, joignant

que, par suite, les résultantes normales admissibles sont limitées par deux courbes, présentant une pointe sur la normale passant par le centre d'élasticité. En cas de symétrie de la surface du joint par rapport à ce point, les deux branches sont symétriques.

Nous pouvons donc maintenant sur un joint quelconque

---

gh et prenant l'intersection *o* avec la médiane *de*, on aura en *c* le point d'application de la résultante. D'où l'on tire, en appelant *z* la distance *bc*, $\frac{ac}{bc} = \frac{l-z}{z} = \frac{od}{oe} = \frac{dg}{eh} = \frac{\frac{1}{2}p + y}{\frac{1}{2}y + p}$. Prenant le point *m* au tiers du joint *bc*, posant $mc = X$, et tirant $y = \frac{2Y}{l} - p$ de la valeur de la résultante, on a : $\frac{\frac{2Y}{l} - \frac{p}{2}}{\frac{Y}{l} + \frac{p}{2}} = \frac{\frac{2}{3}l - X}{\frac{l}{3} + X}$. — Réduisant cette formule à sa plus simple expression, on obtient :

$$XY = \frac{pl^2}{6},$$

équation d'une hyperbole équilatère ayant pour asymptotes *ab* et *mm'*. — C'est le résultat auquel on arriverait en introduisant dans la formule générale les hypothèses restrictives admises dans ce cas particulier.

Si l'on admet des tractions, l'hyperbole $XY = \frac{pl^2}{6}$ est applicable dans toute l'étendue du joint et au delà ; si l'on n'admet pas de tractions, les pressions seront toujours représentées par une série de triangles dont l'hypothénuse passe par *a'*, mais qui se terminent à des points tels que *r* (*fig.* 33) échelonnés entre *b* et *a*. La résultante passera au tiers des diverses lignes *ar*; elle sera équivalente à l'aire du triangle *ara'*, soit $aa' \times \frac{ar}{2}$ ou *p* (constante) $\times \frac{ar}{2}$. Sa grandeur variera donc proportionnellement à *ar*; et par suite les extrémités de ses diverses valeurs formeront une ligne droite, depuis la valeur $\frac{p\Omega}{2}$ au tiers du joint jusqu'au point *a*.

La méthode, ainsi présentée, n'exige dans les cas usuels de la pratique des voûtes aucune connaissance préalable de la théorie de la résistance des matériaux.

construire l'aire-limite des résultantes normales admissibles, aire pouvant dépasser les contours de la construction si l'on admet des tractions (*fig.* 4), aire limitée aux extrémités A et B du joint si l'on admet seulement des pressions (*fig.* 5).

Courbes déformées des poussées-limites, correspondant à un joint. Leurs propriétés. Nouvelle construction simplifiée. — Ceci posé, considérons le *joint vertical de la clef* et un *joint quelconque*. Sur chacun de ces deux joints, établissons les courbes des résultantes-limites, simples hyperboles équilatères ou droites, *fig.* 6, Pl. 14. Il existe entre ces deux courbes une liaison évidente au point de vue des conditions pratiques de stabilité. Nous avons montré dans un mémoire antérieur que l'on pouvait pour chaque résultante normales NN' du joint *ab* construire la poussée correspondante, en renversant la construction de M. Méry. En effet, si NN' est la composante normale d'une certaine résultante, l'extrémité de la ligne représentative de cette résultante se trouvera sur la parallèle N'R au joint; mais si, d'autre part, nous portons de N en P, le poids de la portion de voûte comprise entre la clef et le joint *ab*, la même extrémité de la résultante se trouvera sur l'horizontale PR. La résultante sera donc déterminée par l'intersection des lignes N'R et PR; elle sera NR; la grandeur de la poussée correspondante sera PR. Prolongeant la ligne NR jusqu'en H sur la verticale GG' du centre de gravité de la portion de voûte a_0b_0 *ab*, et menant l'horizontale H*p*, on reportera de *p* en *r*, la grandeur PR, et l'on aura en *pr* la grandeur et la position de la poussée limite correspondant à la résultante-limite NN'. La même construction appliquée à tous les points de la courbe limite αN'ω donnerait une courbe AD pour les extrémités de toutes les poussées correspondantes.

Or, *cette courbe est elle-même une hyperbole équilatère*; car, prenant, par rapport au point M, sommet de l'hyperbole équilatère, *fig.* 6, Pl. 14, les moments des deux systèmes de composantes de la résultante NR, c'est-à-dire de

la poussée et du poids $H\pi = NP$ d'une part, et des deux composantes normale et parallèle au joint de l'autre, on a :

$$pr \times ps - H\pi \times MS = NN' \times MN$$ (le moment de la composante parallèle au joint est nul, cette force passant par le point M),

ou, posant $pr = y \quad H\pi = P$

$ps = x \quad Ms = m$

$NN' = Y$

$MN = X$

$$xy - Pm = XY = K^2$$ (K^2 étant le paramètre de l'hyperbole équilatère $\alpha\omega$).

La courbe des poussées, que nous appellerons la déformée de la courbe primitive $\alpha\omega$ est donc elle-même une hyperbole équilatère ayant pour asymptotes la verticale à la clef et l'horizontale passant par M. Elle se construira donc avec la plus grande simplicité, une fois qu'on en connaîtra un seul point (*).

Si l'on considère les deux branches de la courbe-limite $\beta\omega\alpha$, elles donneront pour la déformée une courbe à deux branches ABD, se coupant au point D, correspondant au point ω de la courbe-limite. *Toutes les poussées possibles par rapport au joint* ab, c'est-à-dire toutes celles qui ne feront pas dépasser nulle part sur ce joint l'effort-limite, *seront comprises dans l'aire* ABD. D'autre part, par rapport au joint de la clef, il existe une courbe limite $a_0\omega_0b_0$ des poussées, qui ne doivent pas dépasser les extrémités des lignes représentatives des poussées admissibles. Il s'ensuit que les seules poussées admissibles à la fois par rapport au joint ab et au joint a_0b_0 sont comprises dans l'aire commune q, s, t, u.

(*) Les seules courbes à tracer dans notre méthode, simplifiée comme nous la présentons aujourd'hui, sont des hyperboles équilatères. On peut donc, ainsi que nous l'a fait remarquer avec raison M. Cunq, conducteur des ponts et chaussées, tracer à l'avance sur un patron diverses hyperboles équilatères correspondant à une série de valeurs de K^2 et reporter immédiatement sur l'épure la courbe tracée à l'avance qui passerait par le premier et unique point déterminé.

Nous ferons observer combien les propriétés de la déformée simplifient les constructions que nous avions présentées dans nos premiers mémoires pour obtenir à la clef les aires-limites telles que *q*, *s*, *t*, *u*.

N'ayant pas reconnu le caractère d'hyperbole-équilatère de la déformée, nous en avions supposé la construction par points, et pour limiter les parties utiles, nous avions superposé aux constructions indiquées ci-dessus celles qui correspondent au cas-limite d'une résistance indéfinie; dans ce cas les diverses résultantes sont simplement astreintes à ne pas sortir des profils de la construction, ce qui donne des aires-limites spéciales, qui éliminent par leur superposition une partie des solutions correspondant à un effort maximum donné.

Ces complications sont parfaitement inutiles; les constructions sont des plus simples et n'exigent l'emploi d'aucune formule ni d'aucun calcul; étant donné un joint *ab* (*fig.* 7), on le partage aux points M et N en trois parties égales, si l'on a à faire à un joint rectangulaire; dans le cas général on prendra $oM = oN = \frac{r^2}{f}$; on mènera les deux horizontales M*s* et N*s'* qui seront avec la verticale de la clef a_0b_0 les asymptotes des déformées, on cherchera un seul point de ces déformées; en particulier, on pourra faire la construction au centre *o* du joint *ab*, où l'ordonnée est égale à l'effort-limite réparti uniformément sur le joint entier, ou aux points MN, où l'ordonnée est moitié de la précédente. Puis à l'aide du point D obtenu et d'un patron ou de constructions très simples on tracera immédiatement les déformées sans surcharger autrement l'épure par le report d'autres points pris sur le joint (*).

(*) Nous donnons (*fig.* 8) la déformée complète d'une double hyperbole limite, tracée sur un joint *ab*. La déformée est placée dans sa première position, rapportée à la verticale GG' du centre de gravité. Les lettres sont les mêmes sur les diverses branches des

Remarque. — Lorsque l'on fait abstraction des tractions, la déformée se compose, outre les branches d'yperbole équilatère indiquées ci-dessus, de deux branches de courbe se raccordant à ces hyperboles et correspondant aux résultantes normales des joints situées hors du noyau central. Pour un joint rectangulaire, où ces résultantes sont limitées par une droite, la portion correspondante de la déformée est elle-même une hyperbole du 2e degré (*).

La déformée complète de deux droites $c\omega$, $d\omega$ qui se coupent est donnée (*fig.* 10).

La *fig.* 11 donne la déformée dans le cas d'un joint rectangulaire, où la limite des résultantes normales serait dans les deux derniers tiers une droite, c'est-à-dire où l'on n'admet pas les pressions. Les déformées des hyperboles et des droites se raccordent aux deux points m et n. La déformée des hyperboles enveloppe celle des drcites au delà de ces deux points. Généralement, du reste, on n'aura pas à faire intervenir les droites limites et leurs déformées, même dans les voûtes maçonnées; car la réalisation des

---

courbes limites et de leurs déformées respectives. Les seules parties, généralement utiles, sont les branches $c\omega d$. Dans quelques cas spéciaux d'arcs métalliques où les tractions seraient prédominantes on pourrait avoir à utiliser les autres branches.

(*) On a en effet (*fig.* 9) en conservant les notations déjà admises plus haut, et considérant la droite MΩ, au lieu de la courbe limite $\alpha\omega\beta$,

$$xy - m\pi = \mathrm{NN'} \times \mathrm{MN}$$

$$\mathrm{NN'} = \mathrm{Y}$$

$$\mathrm{MN} = \mathrm{X} = \frac{\mathrm{Y}}{\operatorname{tang} \beta}$$

D'où
$$xy = m\pi + \frac{\mathrm{Y}^2}{\operatorname{tang} \beta}$$

Or : $\mathrm{NN'} = \mathrm{Y} = \mathrm{PN} \sin \alpha + \mathrm{PR} \cos \alpha = \pi \sin \alpha + y \cos \alpha$

D'où
$$xy = m\pi + \frac{(\pi \sin \alpha + y \cos \alpha)^2}{\operatorname{tang} \beta}$$

résultantes correspondantes impliquerait que le joint cesse de porter dans toute son étendue et tendrait à bailler vers une arête.

Aire-résidue donnant les poussées admissibles pour une résistance déterminée. — Nous avons indiqué dans nos mémoires précédents et nous rappellerons comment s'achève la vérification de la stabilité.

Le raisonnement que nous venons de faire pour un joint déterminé peut s'appliquer aux divers joints de la construction; on obtient ainsi pour chacun d'eux une aire analogue pour les poussées admissibles.

La superposition de ces aires communes donnerait (*fig.* 12, Pl. 15) une ***aire-résidue***, comprenant la surface, appartenant à la fois à toutes les aires communes. Cette aire-résidue renfermerait les extrémités de toutes les poussées possibles. Si la superposition ne donne pas d'aire-résidue, la stabilité est impossible; si elle donne un seul point, la stabilité est limite; si elle donne une aire plus ou moins étendue la stabilité admet une infinité de solutions, comprises entre des limites plus ou moins étendues et traduites par toutes les courbes de pression ayant pour origine une des poussées possibles.

L'aire-résidue donne en même temps les joints faibles ou de rupture définis par les courbes de pression, issues de ses divers sommets (voir nos mémoires précités) (*).

Ces courbes de pression donneraient l'effort-limite en deux joints, qui seraient les joints faibles.

(*) La nature des déformées et la valeur de leur paramètre permettraient à la rigueur de chercher par le calcul les points d'intersection qui forment les sommets de l'aire-résidue et déterminent les poussées extrêmes admissibles.

Pour un joint quelconque en effet, l'équation de l'hyperbole des normales limites, rapportée à ses asymptotes est en effet: $xy = K^2 = \frac{p\Omega r^2}{f}, = \frac{pI}{f}$ en conservant les notations déjà employées où p est l'effort limite par unité de surface. On a donc pour la

Glissement en effort tranchant. — Les conditions de glissement pour les voussoirs d'une voûte maçonnée ou d'un arc en fonte et d'effort tranchant pour un arc métallique conduisent à une autre limitation des poussées admissibles extrêmement simple, que nous avions indiquée d'un mot seulement en 1867, et qui est la suivante :

Considérons (*fig.* 13) un point N sur un joint quelconque *ab* ; élevons la normale NO. Toutes les résultantes passant par le point N auront pour composante le poids NP de la portion de voûte *ab*, a_0b_0, et par suite leurs extrémités seront situées sur l'horizontale PLL'; d'autre part, parmi ces résultantes toutes celles qui feraient avec la normale un angle supérieur à l'angle de frottement δ ne seraient pas admissibles, comme tendant à amener le glissement de la partie supérieure sur le joint *ab*. Les deux valeurs limites admissibles pour la résultante sont donc NL et NL', correspondant aux poussées PL et PL', lesquelles peuvent être reportées à la clef en $p\lambda$ et $p'\lambda'$. La même construction s'appliquerait en un point quelconque, autre que N, situé

---

déformée correspondante, rapportée à l'horizontale passant par le sommet M de l'hyperbole (*fig.* 6) et à la verticale du sommet : $xy = K^2 + mP = \frac{p\Omega r^2}{f} + mP$.

D'autre part, la courbe des normales limites à la clef a pour équation rapportée à ses asymptotes : $xy = K_0^2 = \frac{p\Omega_0 r_0^2}{f_0}$.

En prenant pour origine commune des coordonnées le centre du joint de la clef, appelant a la distance O_0s, et l la distance du centre de la clef à la limite du noyau central, les équations des deux courbes ramenées aux mêmes coordonnées, seront :

$$y(x \pm a) = \frac{p\Omega r^2}{f} + mP$$

$$y(x \pm l) = \frac{p\Omega_0 r_0^2}{f_0}$$

et les points communs s'obtiendront sans peine en éliminant successivement x et y entre ces deux équations.

sur le joint *ab*. Les seules poussées admissibles, au point de vue du glissement sur *ab*, sont donc celles qui ont leurs extrémités comprises entre les verticales λ et λ'.

La superposition des aires analogues, établies pour les divers joints, conduirait à une aire-résidue, comprise entre deux verticales, qui pourrait être superposée à l'aire, correspondant aux pressions, et éliminer au besoin un certain nombre de solutions. Lorsqu'il s'agit d'effort tranchant, le raisonnement et les constructions sont identiques, avec cette seule modification qu'après avoir pris un point quelconque N sur le joint, *fig.* 13 *bis*, Pl. 15, on porte en N*t* et N*t'* la valeur de l'effort tranchant limite; on élève les normales *t*L et *t'*L' qui, par leur rencontre avec l'horizontale PLL', passant par l'extrémité de la ligne représentative du poids, déterminent les deux résultantes limites NL et NL'.

Voûtes de révolutions. — La méthode exposée ci-dessus, trouve encore son application dans les voûtes de révolution et en particulier dans les voûtes sphériques avec quelques modifications nécessitées par la forme spéciale de la construction.

Dans une voûte sphérique, ou plus généralement dans une voûte de révolution, on ne peut pousser les courbes de pression jusqu'à l'axe comme dans le cas des voûtes cylindriques, ni par suite faire porter l'étude de la stabilité sur une série de poussées horizontales. En effet, dans un grand nombre de cas, la voûte n'est pas fermée à la clef et son sommet présente un vide cylindrique, simple ou surmonté d'un dôme ou d'une coupole de plus petites dimensions (*fig.* 14). Même dans le cas où la voûte est fermée, si l'on considère l'onglet compris entre deux plans méridiens, on ne peut adopter le raisonnement admis dans les voûtes cylindriques et faire supporter par une arête géométrique une poussée qui doit être forcément finie, d'après l'hypothèse même d'une résistance finie admise pour les matériaux, *fig.* 15. Il convient donc de tenir compte de la

forme convergente des divers onglets dans lesquels on peut décomposer une voûte de révolution, mais il faut se garder d'appliquer immédiatement à ces onglets la théorie des voûtes en berceau.

Une ingénieuse remarque présentée par M. Collignon, dans son *Cours de résistance des matériaux*, permet de tourner cette première difficulté d'une façon assez simple et de rentrer dans le cas général des courbes de pression.

Considérons, en effet, un onglet d'une surface de révolution comprise entre deux plans méridiens formant entre eux un angle infiniment petit $d\theta$ (*fig.* 16). Ces deux plans isolent un fragment de voûte qui peut être considéré comme étant un berceau complet ou incomplet, d'épaisseur variable, mais partout infiniment petite.

Prenons une portion de ce berceau compris entre deux joints quelconques $\alpha\beta$, ab. M. Collignon a fait remarquer que toutes les forces qui agissent sur un élément $\alpha\beta ab$ et qui le maintiennent en équilibre ont pour facteur commun dans leur expression l'angle $d\theta$. Ces forces se réduisent à la pesanteur et aux réactions moléculaires suivant les joints. Le poids de la portion de voûte $\alpha\beta ab$ a pour expression le produit du poids spécifique D multiplié par le volume V, engendré par la surface $a_0b_0ab = \Omega$, tournant autour de l'axe $o'o$ de la voûte, d'un angle $d\theta$. Or, d'après le théorème de Guldin, si G est le centre de gravité de la surface a_0b_0ab, le volume V a pour valeur la surface Ω multipliée par l'arc de circonférence décrite par son centre de gravité G. Si donc nous désignons par ρ le rayon gC de cette circonférence, le poids P de la portion de voûte a_0b_0ab sera :

$$P = (\Omega\rho\, d\theta) \times D = \Omega\rho D \times d\theta.$$

Pour un joint autre que ab, les valeurs de $\Omega\rho$ pourraient changer; $d\theta$ serait toujours un facteur. On conçoit que l'on puisse supprimer partout ce facteur, et considérer la voûte

comme formée de voussoirs successifs dont les poids correspondraient à la section donnée par le profil, multipliés par leur distance à l'axe, altération qui tient compte des variations successives de longueur de la voûte profilée en $a_0 b_0 ab$.

On conçoit également que, si l'on connaissait la résultante F de la pesanteur et des réactions mutuelles (*fig.* 17) sur un joint quelconque $\alpha\beta$, on pourrait trouver les résultantes suivantes, et notamment celle qui agirait sur ab, en la combinant avec le poids PP′ de la fraction $\alpha\beta ab$, poids modifié ainsi qu'il vient d'être indiqué, et opérant, par suite, à part cette modification, comme dans le système ordinaire des courbes de pression.

Remarquons enfin que la surface S d'un joint quelconque ab (*fig.* 16) a pour expression la longueur $2f = ab$, multipliée par la circonférence de rayon $R = mM$, décrite par son milieu M, soit :

$$S = 2fR \times d\theta.$$

La courbe limite des résultantes normales compatibles avec un effort-limite n des matériaux par unité de surface aurait pour équation, d'après les formules indiquées plus haut :

$$Y\left(1 + \frac{3X}{f}\right) = n \times 2fR \times d\theta.$$

Les remarques présentées ci-dessus permettent d'appliquer encore ici les procédés des voûtes en berceau, en supprimant pour les résultantes normales, comme pour les poids des voussoirs, le facteur commun $d\theta$ et tenant compte par le terme R, expression de la distance du centre du joint à l'axe, de la variation successive de longueur du berceau élémentaire considérée.

Ceci posé, considérons une voûte de révolution, dont l'anneau supérieur se terminerait inférieurement au

joint a_0b_0 (*fig.* 18). Si nous connaissions la résultante nF sur ce joint du poids de la construction, située à gauche et au-dessus du joint a_0b_0, et des réactions moléculaires suivant a_0b_0, nous n'aurions qu'à prolonger la direction de nF jusqu'à la verticale GG′ du centre de gravité de la portion de voûte a_0b_0ab, les poids étant, bien entendu, modifiés comme il vient d'être dit, pour tenir compte de la convergence de l'onglet. Nous composerions $O'F' = nF$ avec le poids F′R′, toujours modifié, de la portion de voûte a_0b_0ab, et nous obtiendrions la résultante O′R′ que nous reporterions sur ab en NR. Mais nous connaissons, *à priori*, sinon nF, du moins sa composante verticale. Cette composante verticale np est tout simplement le poids de toute la portion de voûte, située à gauche et au-dessus du joint a_0b_0. Il s'ensuit donc que la composante verticale O′P′ de la résultante finale, composante reportée en NP sur le joint ab, est le poids *total* de la voûte comptée à partir du joint ab, étant toujours sous-entendu que ces poids sont modifiés par la multiplication des surfaces des profils par leur distance à l'axe.

Cette remarque permet d'appliquer immédiatement la méthode des courbes limites correspondant à un effort limite donné. En effet, traçons en ab la courbe AA des résultantes normales admissibles, avec la simple modification proportionnelle à la distance à l'axe indiquée ci-dessus. Soit NN′ une des résultantes normales limites, dont l'extrémité tombe par conséquent sur la courbe AA. Menons par N′ une parallèle au joint ab; menons par N une verticale et comptons sur cette verticale une longueur NP égale au poids total de la voûte supérieure à ab; puis menons une horizontale par P. L'extrémité de la résultante devant se touver à la fois sur les deux lignes menées par N′ et par P, se trouvera à leur rencontre en R. La résultante sera donc en grandeur et en direction NR. Prolongeons-la jusqu'à O′ à la rencontre de la verticale GG′ du centre de gravité de

la portion de voûte a_0b_0ab, non compris par suite la partie supérieure de la construction. Reportons NR en O'R' et NP en O'P'. Retranchons sur la verticale O'P' une longueur $p'P'$, représentant le poids de la portion a_0b_0ab de voûte, il restera une longueur $O'p'$ qui sera simplement le poids de la partie supérieure de la voûte, à partir de a_0b_0. Menons l'horizontale $p'F' = P'R' = PR$, c'est-à-dire la composante horizontale de la résultante sur *ab*. Nous obtiendrons en O'F' la force agissant sur a_0b_0 qu'on reportera sur ce dernier joint en prolongeant O'F' jusqu'en *n* et prenant $nF = O'F'$. La force *n*F pourra à son tour être décomposée soit en une verticale et une horizontale qui seront : la première, le poids de la partie de la voûte supérieure à a_0b_0; la deuxième, la compression exercée horizontalement sur la fraction de l'anneau formé par le dernier voussoir; soit en une normale *nn'* qui tendra à écraser les matériaux et une parallèle au joint *n'*F qui tendra à produire le glissement.

La réunion par une ligne contenue de toutes les extrémités des normales telles que *nn'* donnera au premier joint la *déformée* αα de la courbe limite AA du joint *ab*, absolument comme dans le cas d'uue voûte cylindrique. On procéderait, comme pour un berceau, au tracé de la déformée complète αωβ des deux branches AO, BO (*fig.* 19), correspondant aux normales limites sur *ab*; l'intersection avec les courbes normales limites du joint a_0b_0 donnerait l'aire limite des composantes normales, admissibles sur le joint a_0b_0, et susceptibles, par suite, de définir les courbes de pression *possibles* par rapport aux joints a_0b_0 et *ab*. La considération de plusieurs joints *ab*, donnerait une série d'aires-limites dont la surface *résidue* définirait les seules pressions normales admissibles en a_0b_0 pour l'ensemble de la voûte.

La question du *glissement* se résoudrait identiquement comme pour les voûtes en berceau par une série d'autres aires-limites comprises simplement entre deux droites.

Nous ajouterons enfin que lorsqu'on considère la force résultante agissant sur l'anneau, formé par le voussoir supérieur de la voûte, terminé en a_0b_0, et qu'on la décompose suivant la verticale et l'horizontale, la composante horizontale pF, appliquée en réalité au point n, tend à comprimer l'anneau (*fig.* 20). Pour éviter l'écrasement dû à cet effort, la section transversale a_0b_0xy, identique dans tout l'anneau, doit présenter une surface Ω suffisante (*fig.* 21). Si la limite de compression que l'on veut admettre est de K kilogrammes par unité de surface, la surface résistante offerte par les deux sections de l'anneau, comptées aux deux extrémités d'un même diamètre, comporte un effort total 2KΩ; c'est une limite que ne doit pas atteindre la résultante des compressions horizontales telles que pF (*fig.* 20).

Or, si nous connaissions la valeur F de ces compressions, comptée par unité de longueur sur leur circonférence d'application, leur résultante, d'après un théorème bien connu, serait, pour un demi-anneau, $2r$F, c'est-à-dire le produit de la force sur l'unité de longueur multipliée par le diamètre (*fig.* 22). On aurait donc pour le cas d'effort-limite :

$$2rF = 2K\omega \quad \text{ou} \quad rF = K\omega.$$

Or, l'épure exécutée suivant les principes exposés ci-dessus, c'est-à-dire en partant de la considération de l'onglet d'angle $d\theta$, et arrivant aux courbes de pression construites après suppression du facteur commun $d\theta$ et remplacement des poids réels par les poids obtenus en multipliant les sections par leur distance à l'axe, donne précisément pour chaque force obtenue sur le joint a_0b_0 la composante horizontale ramenée à l'unité de longueur sur sa circonférence d'application, c'est-à-dire F, multipliée par le rayon de cette circonférence, soit finalement $r \times$F. La ligne pF des figures précédentes doit donc être inférieure à la constante Kω. Par suite, si l'on construit, une fois pour toutes, sur un joint a_0b_0 (*fig.* 23), la force dont les deux composantes seraient le

poids mp de la partie de la construction supérieure au joint a_0b_0 et une horizontale $p\varphi$ égale à $K\omega$, et si l'on mène une parallèle au joint par le point φ, on aura une limite supérieure des forces normales admissibles sur a_0b_0, limite qui dans certains cas pourra réduire les solutions admissibles (*fig.* 24) en venant couper la surface résidue de ces solutions. Si la ligne $\varphi\varphi'$ reste au-dessus de la surface résidue, il n'y aura aucun danger d'écrasement par complication latérale.

Coupole de ***Bramante.*** — C'est suivant les principes qui viennent d'être exposés que nous avons étudié la stabilité de la voûte projetée par Bramante, près Saint-Pierre de Rome.

Il est en quelque sorte de tradition de considérer cette voûte, au moins telle que sa forme générale nous a été transmise par Serlio (Pl. 16, *fig.* 25) (*), comme irréalisable ou d'une stabilité peu satisfaisante. L'auteur d'un intéressant ouvrage sur les projets primitifs de Saint-Pierre de Rome, M. de Geymuller, nous a demandé notre opinion. Nous avons dressé l'épure, reproduite (Pl. 16, *fig.* 26) en partant de la théorie exposée ci-dessus.

L'ensemble de la section méridienne de la voûte proprement dite a été divisée en six voussoirs principaux, subdivisés eux-mêmes en trente surfaces élémentaires. Le premier voussoir comprend toute la partie supérieure de la construction jusqu'au premier claveau de la voûte, formant l'anneau sur lequel viennent butter les divers onglets dans lesquels la construction peut être décomposée. Le massif cylindrique compris entre la retombée de la voûte proprement dite et les colonnes en piédroits forme un septième grand voussoir. Nous avons admis un poids spécifique de 2.000 kilog., ce poids est un peu supérieur à celui que divers auteurs ont adopté pour la maçonnerie du dôme

(*) Les dimensions sont indiquées dans ce dessin en palmes romains; un palme vaut $0^m,2234$.

actuel de Saint-Pierre et qui est de 1.500 à 1.600 kilog. Mais, en pareil cas, il convient de forcer plutôt la grandeur de la masse totale que de la diminuer; on tient, du reste, ainsi compte des masses additionnelles telles que couverture, enduits, ornements divers, etc. Le couronnement avec ses ornements ont été supposés en métal, bronze par exemple, avec poids spécifique de 9.000 kilog.

La résistance limite des matériaux à l'écrasement a été prise de 10 kilog. par centimètre carré. Pour une voûte qui ne supporte que son propre poids et n'a aucune surcharge, cette limite rentre dans les conditions normales de stabilité. Les cotes sont exprimées en mètres dans l'épure.

L'examen des tracés conduit aux observations et conclusions suivantes :

I. — Voûte proprement dite (Voussoirs I à VI).

1° *Résistance à l'écrasement suivant une section méridienne.* — L'épure montre que la voûte est dans des conditions admissibles de stabilité, avec une résistance limite de 10 kilog. Les réactions normales admissibles sur le joint qui sépare les voussoirs I et II sont comprises dans l'aire-résidue indiquée sur l'épure (les déformées des divers joints sont tracées en traits pleins pour la déformée minima et en traits pointillés pour la déformée maxima; les chiffres qui accompagnent ces courbes indiquent les numéros correspondants des joints).

La forme de l'aire-résidue et le tracé des courbes de pression, correspondant aux solutions-limites, c'est-à-dire ayant pour origine les réactions normales situées aux angles de l'aire-résidue, indiquent qu'il y a une tendance à produire un maximum d'effort vers l'intrados dans les environs des voussoirs IV et V et du joint qui les sépare. On voit, en effet, dans ces parages les courbes de pressions limites se rapprocher de l'intrados et s'éloigner de l'extrados.

En faisant descendre l'effort-limite des matériaux à 5 kilog., l'équilibre est impossible. Nous donnons sommairement à gauche de l'épure les résultats auxquels conduit dans ce cas la construction des courbes-limites et déformées sur le joint qui sépare les voussoirs I et II. Les courbes déformées ne rencontrent plus la courbe-limite des pressions du joint en question. Il n'y a plus de solution d'équilibre.

Au point de vue de l'écrasement des matériaux suivant une section méridienne, la voûte de Bramante pourrait donc tenir en équilibre avec des matériaux résistant à 10 kilog. de pression par centimètre carré, avec une tendance à produire des efforts maxima vers les reins à l'intrados; elle ne pouvait être stable avec des matériaux résistant à 5 kilog. Il suffisait donc de la constituer avec des matériaux, pierre et mortier, donnant une résistance moyenne de 7 à 8 kilog. pour la réaliser dans de bonnes conditions de stabilité. Ce sont des conditions qui semblent faciles à réaliser.

2° *Glissement.* — Le tracé des courbes de pressions-limites et de quelques-unes des résultantes correspondantes montre immédiatement que les glissements dans le sens des joints n'était pas à craindre et qu'il n'y a pas lieu de s'arrêter aux vérifications correspondantes.

3° *Compression latérale.* — Appliquant les principes exposés ci-dessus à la compression latérale, nous avons pris comme surface pressée dans l'anneau supérieur de la voûte les deux voussoirs élémentaires 19 et 20, qui offrent une surface de $14^{mq},9125$ et donnent une résistance-limite totale, à 10 kilog. par centimètre carré, de 1.491.250 kilog. En composant cette résistance avec le poids total du voussoir I, on obtient la droite-limite CC′, qui ne coupe pas l'aire-résidue; par suite, la compression latérale n'est exposée à atteindre la limite de 10 kilog. dans aucune des solutions d'équilibre admissibles au point de vue de la stabilité dans les sections méridiennes.

La voûte proprement dite, projetée par Bramante, et correspondant aux voussoirs I à VI de l'épure, pouvait donc être en équilibre avec une résistance des matériaux de 7 à 8 kilog. par centimètre carré, sans s'écraser, sans glisser en aucun point.

II. — Sommier et piédroits.

La voûte proprement dite repose sur le voussoir VII formant sommier. Ce voussoir lui-même est supporté par 48 grosses colonnes extérieures ayant $1^{m},117$ de diamètre et par un tambour intérieur cylindrique avec pilastres de 4 mètres d'épaisseur, percé de 8 ouvertures où se trouve intercalé un double rang de deux colonnes.

1° SOMMIER.

Sur le sommier, comme sur le tambour et les colonnes, les pressions normales se réduisent au poids total de la voûte. Considérant une section horizontale du sommier, voisine de sa face inférieure, et prenant les positions les plus défavorables de la résultante, c'est-à-dire les points d'application des courbes de pressions-limites, on voit que les verticales, représentant les poids totaux sur l'épure, tombent à l'intérieur du contour-limite dont, vu les dimensions du dessin, nous n'avons indiqué que les amorces extrêmes.

2° TAMBOUR ET COLONNES.

A. Section méridienne passant par le tambour et une colonne extérieure. — Si nous considérons une section méridienne passant par l'axe d'une colonne extérieure et coupant le tambour (*fig.* 27, Pl. 15), les pressions se répartissent sur la section correspondante du tambour et sur la colonne. Pour les solutions d'équilibre donnant les courbes

de pression les plus voisines de l'intrados au sommier, comme celle qui est tracée en noir plein sur l'épure, *fig.* 26 et 27, l'extrémité de la ligne représentative du poids total tombe à l'intérieur du contour-limite correspondant à la section supérieure du tambour. Ce tambour est donc à lui seul capable de supporter sans écrasement le massif complet, indépendamment du secours que lui apporte naturellement la grosse colonne extérieure. Pour les solutions d'équilibre donnant les courbes de pression les plus éloignées de l'intrados, telles que N′, l'extrémité de la ligne représentative du poids total peut tomber en dehors de ce même contour-limite. Dans ce cas, le tambour seul serait insuffisant pour supporter sans écrasement la construction complète; il tendrait à s'écraser vers son extrados, à moins qu'on ne le réconforte en augmentant de ce côté son épaisseur de manière à lui donner une épaisseur égale à PM′ au lieu de PM, *fig.* 26 et 27, M′ étant déterminé par la ligne M′N′ menée parallèlement au contour-limite par l'extrémité N′ du poids total placé à sa position extrême; ce serait un surcroît d'épaisseur de $0^m,60$ environ. Mais la colonne extérieure intervient naturellement dans ce cas pour prendre une forte part du poids, décharger le tambour et assurer ainsi la stabilité sans danger d'écrasement. Si nous décomposons la coupole en 48 onglets, soit en un nombre d'onglets égal au nombre des colonnes extérieures, la surface portante pour un pareil onglet se composera :

1° *De la surface correspondante du tambour, ayant pour valeur :*

$$\frac{1}{48} \times 2\pi \times 23^m \times 4^m,00 = 12^{mq},0428 \quad \text{(La largeur PM étant de } 4^m,00\text{)}.$$

2° *De la section de la colonne extérieure :*

$$\pi \times \left(\frac{1^m,117}{4}\right)^2 = 0^{mq},9799.$$

La surface portante totale est donc de $13^{mq},0207$.

Le poids supporté est le $\frac{1}{48}$ du poids de la voûte totale, soit $\frac{1}{48} \times 27.511.732 = 573.161$ kilog., qui, répartis sur les 130.227 centimètres carrés trouvés ci-dessus, donnent, par centimètre carré, une pression de :

$$\frac{573,161}{130,227} = 4^k,40.$$

B. *Section méridienne passant par une ouverture du tambour.* — Dans ce cas, tout le poids de l'onglet correspondant serait retombé si l'on n'eût pris des précautions spéciales sur les trois colonnes que rencontre la section méridienne passant par l'axe de ces colonnes (coupe *fig.* 28, Pl. 15).

La surface portante se serait trouvée réduite aux sections des trois colonnes, ayant respectivement des diamètres de $0^m,839$, $0^m,893$, $1^m,117$, c'est-à-dire à :

$$\frac{\pi}{4}\left(\overline{1,117}^2 + \overline{0,893}^2 + \overline{0,839}^2\right) = 2^{mq},4812.$$

La pression au centimètre carré eût atteint :

$$\frac{573,161^k}{24,812} = 22^k,70.$$

Cette pression, quoique considérable, pouvait parfaitement être supportée par des colonnes constituées, comme elles le sont habituellement, par des matériaux de choix, tels que granite, porphyre, marbre, etc.

Mais il est infiniment probable qu'au-dessus des ouvertures des tambours, Bramante eût établi dans le massif du dôme des arcs de décharge, comme l'indique le croquis (*fig.* 29, Pl. 15). En admettant que ces arcs de dé-

charge aient reporté sur les parties pleines du tambour la totalité du poids correspondant, on serait arrivé, dans le premier cas (§ A), à doubler simplement les chiffres obtenus et à obtenir une pression de $8^k,80$ parfaitement admissible sur des colonnes isolées et sur un massif cylindrique vertical, et inférieure en tous cas à la limite de 10 kilog. admise dans toute cette étude de stabilité.

La voûte de Bramante était donc parfaitement réalisable dans des conditions satisfaisantes de stabilité.

Nous espérons que les ingénieurs qui s'intéressent aux questions de théorie des constructions et les divers auteurs qui ont accueilli avec tant d'indulgence notre méthode dans leurs ouvrages ou dans leurs leçons trouveront quelque intérêt aux nouvelles considérations que nous leur soumettons aujourd'hui.

Paris, 25 janvier 1879.

N° 28

PRIX DALMONT.

Dans sa séance annuelle du 1er Mars dernier, l'Académie des Sciences a décerné le prix Dalmont à M. COLLIGNON, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Inspecteur des Études à l'École des Ponts et Chaussées, pour l'ensemble de ses travaux scientifiques.

Nous rappellerons à ce propos que le prix Dalmont, institué pour récompenser les Ingénieurs qui se sont le plus distingués par l'ensemble de leurs travaux dans les Sciences pures ou appliquées, a depuis sa fondation été accordé :

A M. BAZIN. . . . . en 1867
A M. MAURICE LÉVY. . . . . en 1870
A M. GRAEFF. . . . . en 1873
A M. RIBAUCOUR . . . . en 1876
A M. COLLIGNON . . . . en 1879

et que le prix fondé en 1869 par le général Poncelet a été décerné deux fois depuis cette époque à des Ingénieurs des Ponts et Chaussées :

A M. BRESSE . . . . en 1874
A M. MAURICE LÉVY. . . . . en 1878

MINISTÈRE D

DIRECTION GÉNÉRALE DES CHEMINS DE FER. — DIRECTION DE

N° 29 RECETTES DE L'EXPLOITATION DES CHEMINS DE FER FRANÇA

NOMS DES CHEMINS.	LONGUEUR totale exploitée au 31 décembre 1878	LONGUEUR totale exploitée au 31 décembre 1879	LONGUEUR moyenne exploitée pendant l'année 1878	LONGUEUR moyenne exploitée pendant l'année 1879
				ANCIEN
	kilom.	kilom.	kilom.	kilom.
Nord	1.311	1.311	1.311	1.311
Est	578	744	578	686
Ouest	900	900	900	900
Paris à Orléans	2.017	2.017	2.017	2.017
Paris-Lyon-Méditerranée	(b) 4.055	(b) 4.196	(b) 4.050	(b) 4.103
Midi	796	796	796	796
Ceinture de Paris (rive droite)	(c) 20	(c) 20	(c) 20	(c) 20
Grande ceinture de Paris	(d) 31	(d) 31	(d) 31	(d) 31
Totaux et moyennes	(f) 9.688	(f) 9.995	(f) 9.683	(f) 9.844
				NOUVEAU
Nord	608	654	579	632
Est	1.940	1.992	1.845	1.952
Ouest	1.944	2.056	1.814	1.945
Paris à Orléans	2.306	2.341	2.306	2.324
Paris-Lyon-Méditerranée	1.543	1.543	1.438	1.543
Midi	1.405	1.405	1.390	1.405
Totaux et moyennes	9.746	9.991	9.372	9.801
				RÉSEAU
P.-L.-M. (Rhône-Mont-Cenis)	144	144	(g) 132	(g) 132
				RÉSEAU
Chemins de l'État	(h) 1.589	(i) 1.643	1.549	1.614
				COMPAGNIES
Armentières à la frontière belge	3	3	3	3
Bondy à Aulnay-lès-Bondy	8	8	8	8
Chauny à Saint-Gobain	15	15	15	15
Dombes et Sud-Est	(k) 175	(k) 175	(k) 175	(k) 175
Dunkerque à la frontière belge	15	15	15	15
Enghien à Montmorency	3	3	3	3
Hazebrouck à la frontière belge	(l) 15	(l) 15	(l) 15	(l) 15
Lille à Béthune et à Bully-Grenay	50	50	(m) 40	(m) 40
Lille à Valenciennes et ses extensions — Lille à Valenciennes	63	63	63	63
Lille à Valenciennes et ses extensions — Lérouville à Sedan	143	143	143	143
Marseille (banlieue sud et vieux port de)	3	3	1	3
Médoc	100	100	100	100
Nord-Est	224	236	198	227
Perpignan à Prades	40	40	40	40
Rhône (la Croix-Rousse à Sathonay) (n)	7	7	7	7
Somain à Anzin et à la frontière belge	37	37	37	37
Vassy à Saint-Dizier	22	22	22	22
Vitré à Fougères	81	81	81	81
Totaux et moyennes	(o) 996	(o) 1.008	(o) 958	(o) 989
				RÉCAPITU
Ancien réseau	9.688	9.995	9.683	9.844
Nouveau réseau	9.746	9.991	9.372	9.801
Réseau spécial	144	144	132	132
Réseau de l'Etat	1.589	1.643	1.549	1.614
Compagnies diverses	996	1.008	958	989
Totaux et moyennes	(q) 22.158	(p) 22.776	(q) 21.689	(q) 22.375

(*) Les différences sont affectées du signe + lorsque la recette de 1879 est supérieure à celle

AVAUX PUBLICS.

STRUCTION. — DIVISION DU CONTRÔLE ET DE LA STATISTIQUE.

TÉRÊT GÉNÉRAL PENDANT LES ANNÉES 1879 ET 1878.

RECETTES totales de l'année		DIFFÉRENCE entre	PAR KILOMÈTRE. Recette totale.		Différence entre 1879 et 1878	
1878	1879	1879 et 1878 (*).	1878	1879	totale (*).	pour 100 (*).
ÉSEAU.						
francs.	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.
117.646.911	115.448.712	— 2.198.199	89.738	88.062	— 1.676	— 1,87
47.955.729	(a) 45.621.736	— 2.333.993	82.968	66.504	— 16.464	— 19,84
80.642.743	77.841.642	— 2.801.101	89.603	86.491	— 3.112	— 3,47
110.313.875	107.678.339	— 2.635.536	54.692	53.385	— 1.307	— 2,39
269.079.166	267.962.775	— 1.116.391	66.439	65.309	— 1.130	— 1,70
50.984.351	54.326.049	+ 3.341.698	64.051	68.249	+ 4.198	+ 6,55
5.565.771	6.191.102	+ 625.331	278.289	309.555	+ 31.266	+ 11,24
70.658	107.462	+ 36.804	2.279	3.467	+ 1.188	+ 52,13
682.259.204	675.177.817	— 7.081.387	70.459	68.588	— 1.871	— 2,66
ÉSEAU.						
14.314.000	15.995.548	+ 1.681.548	24.722	25.309	+ 587	+ 2,38
56.483.497	59.472.418	+ 2.988.921	30.614	30.467	— 147	— 0,48
36.195.913	37.535.072	+ 1.339.159	19.954	19.298	— 656	— 3,29
43.627.531	45.713.601	+ 2.086.070	18.919	19.670	+ 751	+ 3,97
19.979.182	21.890.117	+ 1.910.935	13.894	14.187	+ 293	+ 2,11
22.283.648	23.576.120	+ 1.292.472	16.031	16.780	+ 749	+ 4,67
192.883.771	204.182.876	+ 11.299.105	20.581	20.833	+ 252	+ 1,22
PÉCIAL.						
6.191.543	6.023.945	— 167.598	46.906	45.636	— 1.270	— 2,71
L'ÉTAT.						
13.213.522	15.162.397	+ 1.948.875	8.530	9.394	+ 864	+ 10,13
IVERSES.						
27.533	28.913	+ 1.380	9.177	9.638	+ 461	+ 5,02
33.354	35.229	+ 1.875	4.169	4.404	+ 235	+ 5,64
205.276	206.907	+ 1.631	13.685	13.794	+ 109	+ 0,80
2.205.271	2.391.652	+ 186.381	12.602	13.667	+ 1.065	+ 8,45
135.037	152.388	+ 17.351	9.002	10.159	+ 1.157	+ 12,85
140.240	139.717	— 523	46.747	46.572	— 175	— 0,37
71.504	74.429	+ 2.925	4.767	4.962	+ 195	+ 4,09
867.700	884.661	+ 16.961	21.692	22.117	+ 425	+ 1,96
1.386.695	1.297.094	— 89.601	22.011	20.589	— 1.422	— 6,46
783.328	747.446	— 35.882	5.478	5.227	— 251	— 4,58
9.946	37.825	+ 27.879	9.946	12.608	+ 2.662	+ 26,77
1.024.207	1.115.342	+ 91.135	10.242	11.153	+ 911	+ 8,89
1.585 116	1.794.993	+ 209.877	8.006	7.907	— 99	— 1,24
648.225	655.612	+ 7.387	16.206	16.390	+ 184	+ 1,44
208.495	209.239	+ 744	29.785	29.891	+ 106	+ 0,36
2.691.960	2.695.859	+ 3.899	72.756	72.861	+ 105	+ 0,14
211.259	215.027	+ 3.768	9.615	9.774	+ 159	+ 1,65
512.543	502.998	— 9.545	6.328	6.210	— 118	— 1,86
12.747.689	13.185.331	+ 437.642	13.307	13.332	+ 25	+ 0,19
TION.						
682.259.204	675.177.817	— 7.081.387	70.459	68.888	— 1.871	— 2,66
192.883.771	204.182.876	+ 11.299.105	20.581	20.833	+ 252	+ 1,22
6.191.543	6.023.945	— 167.598	46.906	45.636	— 1.270	— 2,71
13.213.522	15.162.397	+ 1.948.875	8.530	9.394	+ 864	+ 10,13
12.747.689	13.185.331	+ 437.642	13.307	13.332	+ 25	+ 0,19
907.295.729	(r) 913.732.366	+ 6.436.637	41.832	40.837	— 995	— 2,38

1878; elles sont affectées du signe — dans le cas contraire.

OBSERVATIONS

(a) Y compris les recettes effectuées du 1er avril au 30 septembre 1879 sur les chemins de fer de Nancy à Vézelise, de Nancy à la frontière vers Château-Salins et d'Épernay à Romilly.

(b) Y compris 15 kilomètres sur le territoire suisse, de la frontière à Genève.

(c) Y compris 3 kilomètres pour l'embranchement du marché aux bestiaux de la Villette, appartenant à la Ville de Paris.

(d) Y compris 15 kilomètres de parcours communs avec la compagnie de l'Est, de Noisy-le-Sec à Sucy-en-Brie, et 7 kilomètres de parcours communs avec la compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée de Villeneuve-Saint-Georges à Juvisy.

(e) Ces chiffres ne comprennent que les recettes de la grande vitesse; le service des marchandises n'ayant commencé que le 15 mai 1878.

(f) Déduction faite des parcours communs, voir note (d).

(g) Non compris la section de Modane à la frontière d'Italie (12 kilom.).

(h) Les lignes rachetées, composant le réseau exploité par l'État (loi du 18 mai 1878) sont les suivantes :

1° ANCIENNES LIGNES D'INTÉRÊT GÉNÉRAL.

		kil.
Charentes	518	
Vendée	308	
Poitiers (Neuville) au Grand-Pont	12	1.164
Orléans à Châlons-sur-Marne	293	
Saint-Nazaire au Croisic et embranchements	33	

2° ANCIENNES LIGNES D'INTÉRÊT LOCAL.

Bordeaux à la Sauve	27	
Orléans à Rouen	183	
Poitiers à Saumur	86	474
Maine-et-Loire et Nantes	63	
Nantais	115	
Ensemble		1.638

La prise de possession par l'État desdites lignes a eu lieu le 1er juillet 1878, excepté pour la ligne d'Orléans à Châlons dont l'exploitation par l'État ne date que du 1er août suivant, et pour les sections successivement livrées à l'exploitation depuis cette époque.

(i) Y compris 15 kilomètres de parcours communs avec la compagnie de Paris à Orléans, mais non compris 10 kilomètres exploités par la compagnie d'Orléans à Châlons (ligne d'intérêt local).

(j) Chiffre approximatif.

(k) Y compris 7 kilomètres de parcours commun avec la compagnie du Rhône.

(l) Non compris 1 kilomètre de parcours commun avec la compagnie du Nord, à Hazebrouck.

(m) Non compris la section de Violaines à Bully-Grenay (10 kilom.), exploitée par la compagnie des mines de Béthune.

(n) Incorporée dans la compagnie des Dombes et Sud-Est, à partir du 22 décembre 1879.

(o) Non compris le raccordement à Cambrai (1 kilom.) appartenant à la compagnie de Picardie et Flandres, et la section de Vireux à la frontière (2 kilom.), dont les produits ne figurent pas au présent tableau et déduction faite des parcours communs, voir notes (k) et (l).

(p) Les sections ouvertes du 1er janvier au 31 décembre 1879 ont une étendue de 618 kilomètres, savoir :

ANCIEN RÉSEAU.

			kil.
Est. — Nancy à Vézelise et embranchements, chemin d'intérêt local, incorporé dans le réseau d'intérêt général depuis le 26 mars 1879	34		
— Nancy à la frontière allemande, vers Château-Salins, incorporé depuis le 26 mars 1879	24		166
— Épernay à Romilly, chemin d'intérêt local, incorporé depuis le 26 mars 1879	84		
— Vézelise à Mirecourt, incorporé depuis le 22 décembre 1879	24		
Paris-Lyon-Méditerranée. — Gisors à la Voulte et raccordement, le 18 août 1879	109		
— Vogüe à Aubenas, le 18 août 1879	10		141
— Saint-Pierre-d'Albigny à Albertville, le 27 octobre 1879	22		
Total pour l'ancien réseau			307

NOUVEAU RÉSEAU.

		kil.
Nord. — Frévent à Abbeville, le 21 juin 1879		46
Est. — Conflans-Jarny à Briey, le 1er septembre 1879	14	
— Remiremont à Saint-Maurice, le 7 octobre 1879	28	52
— Onville à Thiaucourt, le 22 décembre 1879	10	
Ouest. — Coutances à Avranches, le 29 décembre 1879	44	112
— Dol à Lamballe, le 29 décembre 1879	68	
Paris à Orléans. — Bergerac au Buisson, le 9 juin 1879		35
Total pour le nouveau réseau		245

RÉSEAU DE L'ÉTAT.

Saint-Nazaire au Croisic et embranchements, le 11 mai 1879	33	54
Loches à Châtillon, le 27 octobre 1879	21	

COMPAGNIES DIVERSES.

Nord-Est. — Tourcoing à Menin, le 15 septembre 1879	12
Ensemble	618
Longueur exploitée au 31 septembre 1878 (*)	22.158
Longueur exploitée au 31 septembre 1879 (*)	22.776

(*) Y compris 15 kilomètres, sur le territoire suisse voir note (*b*), et 3 kilomètres pour l'embranchement du marché aux bestiaux de la Villette, voir note (*c*); mais non compris les parcours communs, voir note (*i*), ainsi que les lignes qui ne figurent pas au présent tableau, voir note (*o*).

(*q*) Déduction faite du parcours communs voir note (*i*).

(*r*) Déduction faite des détaxes et non compris les impôts sur les transports qui s'élèvent aux chiffres suivants :

	1879	1878
Grande vitesse	75.105.792 fr.	80.798.698 fr.
Petite vitesse	»	10.793.902
Ensemble	75.105.792 fr.	91.592.600 fr.

NOTA. — *Les comptes du 4e trimestre de* 1879 *n'étant pas encore définitivement arrêtés, les chiffres qui se rapportent à cette période peuvent être susceptibles de quelques modifications.*

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES.

CHRONIQUE.

Mai 1880.

N° 30

Rectification à l'article relatif à deux nouveaux mémoires sur les voûtes en maçonnerie. — Dans l'analyse sommaire qu'on a donnée (Chronique, février 1880) du mémoire sur les voûtes en maçonnerie, par M. Gobert, on a indiqué l'emploi que l'auteur fait des droites-limites et de leurs transformées hyperboliques. Ces conceptions géométriques n'appartiennent pas à M. Gobert, elles sont dues à M. Alfred Durand-Claye, qui en a tiré le parti le plus heureux dans des publications antérieures et qui sont bien connues des lecteurs des *Annales*.

L'accident du pont sur le Tay (Angleterre). — La plupart des lecteurs des *Annales* ont certainement appris, par la voie des journaux ordinaires, le lugubre accident arrivé, le 27 décembre dernier, au grand pont sur le Tay (Angleterre). Par un ouragan terrible, treize des plus grandes travées sont tombées dans la rivière, entraînant avec elles un train tout entier et causant la mort d'environ quatre-vingts personnes. Ce fait sans précédent, et dont les causes sont des plus complexes, a donné lieu depuis plusieurs mois à une foule d'interprétations diverses avant même que l'examen approfondi des lieux et des débris de la partie écroulée ait pu fournir quelques indices sérieux. Nous nous étions jusqu'ici abstenus de toute allusion à ce sujet délicat, parce que rien ne nous semblait, sinon faire connaître les causes exactes de l'accident, au moins en indiquer les raisons probables. L'enquête, ouverte immédiatement après le désastre, a été poursuivie sans relâche, et, bien qu'elle soit loin d'être terminée, l'ensemble des dépositions recueillies jusqu'au moment où nous écrivons permet

cependant de se faire une idée assez nette de ce qui a pu se passer. Nous allons donc indiquer sommairement les principaux résultats acquis aujourd'hui.

Le pont sur le Tay, livré à la circulation depuis un an et demi environ, a une longueur totale de 3.154 mètres, divisée en 85 travées, dont les ouvertures sont les suivantes :

		mètres.			mètres.			mètres.
11	de	74,65	13	de	44,20	24	de	20,57
2	—	69,19	10	—	39,40	3	—	20,42
1	—	50,60	11	—	39,20	1	—	20,32
1	—	49,38	2	—	26,52	6	—	8,78

Le tablier, large de $4^m,57$, est porté par les deux poutres de rive. Il est tantôt à leur partie supérieure, tantôt à leur partie inférieure. Toutes les poutres sont à treillis ordinaire, excepté celles de $50^m,60$, qui sont des bow-strings. Ce sont celles des 11 travées de $74^m,65$ et des deux de $69^m,19$ qui sont tombées ; elles n'étaient pas indépendantes les unes des autres, mais formaient trois séries à travées solidaires. Les deux premières séries recouvraient chacune quatre travées, et la troisième cinq. Ajoutons enfin que le pont, dont l'axe n'est ni rectiligne ni de niveau, présente à chacune de ses extrémités une courbe d'environ 400 mètres de rayon, et qu'il est en pente depuis la partie centrale jusqu'à chacune des deux rives.

Sur l'ensemble, quatorze piles seulement sont entièrement en maçonnerie de briques et ciment. La presque totalité des autres, fondées suivant différents systèmes, est constituée par un massif de maçonnerie, arasé à $1^m,50$ environ au-dessus des hautes eaux, et surmonté de piles métalliques formées de six cours de tubes en fonte remplis de béton. Ces colonnes sont réunies les unes aux autres au moyen de liens horizontaux et de contre-fiches inclinées. En plan, elles figurent un hexagone allongé dont la plus grande diagonale est parallèle à la direction du cours des eaux.

Parmi les nombreuses causes auxquelles on peut attribuer l'accident, les suivantes se présentaient naturellement à l'esprit. La chute des travées pouvait provenir, soit d'affouillements sous une ou plusieurs piles, soit d'un déraillement du train, soit de la rupture des poutres ou des piles, soit enfin du renversement de ces dernières sous l'action de la pression du vent combinée avec les vibrations et oscillations causées par le passage du train.

Des sondages exacts, exécutés tant avant qu'après l'accident, ont montré de la manière la plus nette que si le fond de la rivière s'est légèrement modifié depuis la construction de l'ouvrage, ces

changements sont trop peu importants pour avoir pu changer l'état de stabilité normale des piles, dont les fondations n'ont pas bougé. Cette première cause se trouve donc écartée tout d'abord. Les résultats de l'enquête semblent également faire mettre de côté les deux suivantes : le déraillement et la rupture des poutres. Les relevés exécutés par des plongeurs habiles tendent à établir que les poutres sont restées intactes, et, sur les débris du tablier, on ne trouve aucune trace pouvant faire conclure à un déraillement. La vitesse du train, à son entrée sur le pont, était, du reste, assez réduite (4.500 mètres environ) pour rendre cette opinion vraisemblable.

Restent donc les deux dernières causes : la rupture des piles et leur renversement. C'est surtout sur les effets dus à la violence du vent qu'on a le plus discuté jusqu'ici, et les ingénieurs ne paraissent pas d'accord sur la manière dont on doit en tenir compte dans les calculs de stabilité. Les uns veulent qu'on s'occupe seulement de la pression exercée sur la surface de la poutre directement opposée au vent; d'autres estiment qu'il faut faire entrer en ligne de compte tout ou partie de la surface de la seconde poutre; d'autres enfin pensent qu'il faut également faire intervenir la surface du train qui traverse le pont. En l'absence d'expériences concluantes, il est bien difficile de trancher la question. Suivant qu'on adopte l'une ou l'autre de ces hypothèses, le point de passage et l'intensité de la résultante totale des efforts auxquels la pile est soumise varient dans une proportion notable, et, par suite, le moment de renversement varie lui-même dans des limites très étendues. Il semble cependant assez difficile d'admettre que l'influence seule du vent ait pu causer la catastrophe, si les piles s'étaient comportées comme un ensemble bien rigide et si chacune de leurs pièces constituantes avait présenté la résistance normale sur laquelle leurs dimensions permettaient de compter.

Les dépositions de nombreux témoins sont venues jeter un peu de lumière sur ce point important. Il en ressort que bon nombre des tubes de fonte qui constituent les colonnes présentaient des soufflures qu'on a remplies de mastic, mais qu'on les a néanmoins employés sans se préoccuper des inconvénients sérieux et des dangers que pouvait entraîner dans l'avenir une pareille manière de procéder. Depuis leur mise en œuvre et l'ouverture du pont au trafic, plusieurs tubes se sont fendus (dépositions faites dans la séance du jury d'enquête du 19 avril) et ont dû être consolidés au moyen de frettes; l'un d'eux appartenait justement à l'axe des piles qui portaient la partie du pont qui est tombée. Les liens ho-

rizontaux et les contre-fiches péchaient au point de vue de l'ajustement; beaucoup de ces barres claquaient à leurs extrémités au moment du passage des trains, preuve évidente d'un jeu qui n'aurait jamais dû exister; les boulons qui les fixaient sur les oreilles des colonnes pénétraient dans des trous beaucoup trop larges. La raideur du système dépendait donc uniquement du serrage des écrous, et, comme ceux-ci se lâchent toujours un peu, la rigidité sur laquelle on comptait n'existait plus au bout de peu de temps. De même, les liens tendus au moyen de clavettes et contre-clefs avaient pris un tel jeu après quelques mois de mise en service qu'on avait dû changer un certain nombre de clavettes ou les garnir à l'aide de morceaux de fer destinés à remplir le vide que la clavette et la contre-clef ne pouvaient occuper à elles seules. En présence de ces faits, on admettra sans difficulté que la rigidité du système métallique avait cessé d'exister bien longtemps avant le jour de l'accident. Sous l'influence de l'ouragan, combinée avec les ébranlements causés par le passage du train, il ne paraîtra plus étonnant que le renversement ait pu se produire. L'effort de renversement (les piles avaient environ 23 mètres de haut) a, du reste, bien pu amener la rupture totale d'un des cylindres fendus antérieurement et la solidarité des travées étendre le désastre aux poutres voisines.

L'enquête a également révélé l'insuffisance manifeste des moyens d'attache du système métallique aux maçonneries. Au lieu d'ancrages profonds dans la masse de maçonnerie des fondations, on s'était contenté de boulons ne traversant que les deux premières assises du socle; leur tige présentant une légère conicité vers sa partie inférieure avait tout simplement été scellée au ciment dans des trous percés à l'avance. L'amarrage ainsi obtenu était donc des plus précaires, et l'on conçoit difficilemennt qu'on ait pu se contenter de moyens aussi peu efficaces en un des points les plus importants de la construction. Ajoutons enfin que le fruit donné aux colonnes était si faible que la base inférieure des piles avait une étendue infiniment trop petite pour assurer à l'ensemble la stabilité qu'on doit toujours exiger dans des ouvrages de cette nature et de cette importance.

Tel est le résumé rapide des résultats acquis jusqu'ici par le jury. S'ils ne permettent pas encore de fixer absolument la cause de l'accident, ils en indiquent toutefois les raisons probables et peuvent servir d'enseignement pour les ingénieurs, en leur montrant quelles minutieuses précautions il importe de prendre dans la construction de pareils ouvrages.

Nous tiendrons nos lecteurs au courant des résultats ultérieurs de l'enquête.

Le grand tunnel de Saint-Gothard. — Le percement d'outre en outre de la galerie de direction du grand tunnel du Saint-Gothard s'est effectué, le 29 février dernier à 11h,10 du matin, à 7744m,7 de l'embouchure nord et à 7167m,7 de l'embouchure sud. La longueur totale du souterrain mesurée provisoirement est de 14.912 mètres. La situation des travaux au 1er avril est la suivante :

	mètres.
Galerie de direction	14.912
Élargissement en calotte	13.622
Cunette du Strosse	10.991
Strosse	10.038
Excavation complète et continue	8.756
Maçonnerie de voûte	11.206
— du piédroit Est	9.468
— du piédroit Ouest	9.343
Aqueduc achevé	8.230
Tunnel complet avec niches et aqueduc	8.230
Longueur restant pour le moment sans revêtement	484

A la même époque, la dépense totale faite pour les travaux montait à la somme de 42.243.880 francs.

Les autres tunnels et les lignes d'accès sont bien moins avancés.

Des observations suivies sur la température des roches traversées, de l'air du tunnel et du terrain naturel situé sur la même verticale, ont été faites avec le plus grand soin de 1873 à 1880 par le Dr Stapff, ingénieur-géologue de la compagnie. Il a trouvé ainsi que de juin 1873 à juin 1877, entre les profils 4.400 (côté N.) et 4.100 (côté S.), la température de l'air du tunnel était de 1°,05, inférieure à celle de la roche pendant le forage et de 1°,49 supérieure pendant le déblayage. De juin 1877 à janvier 1880 entre les profils 4.314 et 7.631 (côté N.), elle était de 3°,15 inférieure pendant le forage et de 0°,10 supérieure pendant le déblayage. Pour les profils de 4.091 à 7,081 (côté S.), il a constaté une différence au moins de 2°,80 pendant le forage et de 0°,52 en plus pendant le déblayage.

Il a recherché également s'il existe une corrélation entre la température du sol naturel et celle d'un point situé à une profondeur déterminée sur la même verticale. De ses nombreuses observations, il a conclu que l'élévation δ de température en un point dont la plus courte distance au sol naturel est représentée par n, s'exprime au moyen de la formule suivante :

$$\delta = \pm \sqrt{36^\circ,1682 - 0,1278\,n + 0,000103\,n^2} + 6^\circ.01 + 0^\circ,01016\,n.$$

En tenant compte des températures de l'air en arrière du front de taille, la formule précédente donne, pour la température moyenne dans la partie centrale du tunnel du Saint-Gothard, 30°,43. La moyenne des observations directes a conduit au chiffre de 30°,39.

La formule ci-dessus permet donc de calculer à l'avance les températures de la roche dans des massifs de montagnes analogues à celui du Saint-Gothard par la forme et la répartition de leur masse.

O. C.

N° 31

BIBLIOGRAPHIE.

INSTITUTION DES INGÉNIEURS MÉCANICIENS DE BIRMINGHAM.

ANNÉE 1878.

Sur l'application aux presses hydrauliques d'un appareil à action directe destiné à augmenter l'intensité de la pression, par M. Ralph. H. Tweddell, de Londres, p. 45-66.

Sur les freins continus pour les trains de chemins de fer par M. R. D. Sanders, de Birmingham, p. 67-105.

Sur un dock flottant d'un système perfectionné établi aux docks Victoria, par M. Charles Elwin, de Londres, p. 139-183.

Sur les dépenses d'exploitation des différentes natures de trafic sur les chemins de fer, par M. Francis R. Couder de Guildford, p. 184-215.

Sur des expériences relatives aux chaudières d'acier, par M. William Boyd, de Newcastle-on-Tyne, p. 217-270.

Sur de nouvelles applications de l'écoulement des solides, par M. Henri Tresca, de Paris, p. 301-345.

De la traction mécanique sur les tramways, par M. Anatole Mallet, de Paris, p. 395-439.

Sur la pompe Greindl et autres pompes rotatives, par M. Poillon, de Paris, p. 440-466.

Sur l'effet des freins sur les trains de chemins de fer, par le capitaine Douglas Galton, p. 467-489.

Sur les machines verticales à cylindres combinés, munies du système à détente variable de Correy, par M. Thomas Powell, de Rouen, p. 504-528.

Éclairage au moyen de l'électricité, par M. Hippolyte Fontaine, de Paris, p. 529-544.

Sur les machines à percer employées dans la fabrication des chaudières, par M. W. S. Hall, de Nuneaton, p. 565-589.

Sur l'effet des freins sur les trains de chemins de fer (2e mémoire), par le capitaine Douglas Galton, p. 590-632.

ANNÉE 1879.

Sur la machine Heslop, par M. H. A. Fletcher, p. 85-95.

Sur l'exploitation des chemins de fer, par M. R. Price Williams, de Londres, p. 96-153.

Expériences récentes sur les freins, faites sur le chemin de fer de Lyon, par M. George Marié, de Paris, p. 157-169.

Sur l'effet des freins sur les trains de chemins de fer (3e mémoire), par le capitaine Douglas Galton, p. 170-217.

Sur l'éclairage électrique (1[er] mémoire), par le Dr John Hopkinson, de Londres, p. 238-265.

Expériences relatives à l'emploi du fer et de l'acier dans les chaudières à haute pression, par MM. David Greig et Max Eyth, de Leeds, p. 268-327.

Sur les machines locomotives à cylindres combinés, par M. Anatole Mallet, de Paris, p. 328-363.

Sur l'entretien d'une pression constante dans les tuyaux de distribution d'eau, par M. Stephen Alley, de Glascow, p. 423-443.

Sur le compteur d'eau à piston de Barton et West, par M. W. H. Thomas, de Londres, p. 444-455.

De l'écoulement de l'eau dans les coudes des rivières, par le professeur James Thomson, p. 456-460.

Sur les machines mues par l'eau, à course de piston variable, par M. John Hastic de Greenock, p. 484-493.

Sur l'emploi des locomotives routières dans l'Inde, par M. R. E. B. Crompton, de Londres, p. 494-533.

Sur la construction et l'emploi dans l'Inde d'une drague à vapeur à action verticale, par M. R. B. Buckley, p. 534-562.

Sur la force perdue dans la propulsion au moyen de l'hélice et sur les moyens d'augmenter l'effet utile de cette dernière, par M. R. C. Parson, de Londres, p. 588-609.

Sur les locomotives sans foyer pour tramways, par M. Léon Francq, de Paris, p. 610-641.

SOCIÉTÉ AMÉRICAINE DES INGÉNIEURS CIVILS.

ANNÉE 1878.

Sur l'allumage des fourneaux de mines au moyen de l'électricité, par Julius H. Striedinger, C. E., p. 1-13.

Amélioration des bancs au sud de Boston, par la Commission des ports de l'État de Massachusetts. Mémoire par Edward S. Philbrick, C. E., p. 17-52.

Sur une nouvelle méthode pour découvrir les efforts trop considérables auxquels peuvent être soumis le fer et les autres métaux, et sur son application à la recherche des causes des accidents dans les ponts et autres constructions, par Robert H. Thurston, C. E., p. 53-59.

Plan incliné de Madison (Indiana). Son histoire, son fonctionnement, par M. J. Becker, C. E., p. 68-76.

Sur la résistance théorique dans les courbes de chemins de fer, par S. Whinery, p. 79-96.

Discussion sur le mémoire précédent, p. 97-108.

Sur la cause de ce fait que dans les canaux découverts la vitesse maxima de l'eau en mouvement est en dessous de la surface libre, par James B. Francis, C. E., p. 109-113.

Sur l'écoulement de l'eau dans les tuyaux sous pression, par Charles G. Darrack, C. E., p. 114-121.

Discussion des mémoires précédents, p. 122-130.
Les jetées de la passe Sud du Mississipi, par E. L. Corthell, C. E. 131-158.
Discussion du mémoire précédent, p. 159-168.
Sur une relation récemment découverte entre la ténacité des métaux et leur résistance à la torsion, par Robert H. Thurston, C. E., p. 169-173.
Observations sur les efforts internes développés dans les barres métalliques par les forces qui leur sont appliquées, par Théodore Cooper, C. E., p. 174-182.
Discussions sur les plans inclinés pour chemins de fer, par O. Chanute et William H. Paine, C. E., p. 216-223.
Sur les arches en briques pour les égouts à grande section, par R. Hering, C. E., p. 252-257.
Discussion du mémoire précédent, p. 258-263.
Sur la chute de la partie en maçonnerie du pont de South-Street, à Philadelphie, par D. Mc N. Stauffer, C. E., p. 264-273.
Discussion sur les ciments, par Dorf J. Whittemon, p. 274-279.
Discussion sur les ciments et sur la force des briques, par F. Collinwood, p. 280-283.
De l'emploi de l'air comprimé dans les fondations tubulaires et de son application au pont de South-Street, à Philadelphie, par D. Mc N. Stauffer, p. 287-309.
Emploi du téléphone dans les travaux sous-marins, par Chas. Ward. Raymond, C. E., p. 310-316.

ANNÉE 1879.

Écoulement de l'eau dans les canaux à petite section, d'après Ganguillet et Kutter, avec le diagramme modifié de Kutter et des tables graphiques spécialement construites pour les calculs d'égouts, par R. Hering, C. E., p. 1-16.
La voie permanente dans la Grande-Bretagne et l'Irlande au point de vue spécial de l'emploi du bois préparé ou non préparé, par John Bogard, C. E., p. 17-20.
Expériences sur les résistances auxquelles donne naissance le matériel roulant, exécutés sous la direction de Charles Paine, C. E., par A. M. Wellington, C. E., p. 21-52.
L'art de l'ingénieur appliqué aux phares, d'après l'exposition centenaire, par J. G. Barnard, p. 55-82.
Le phare de Minot's Ledge, par le colonel B. S. Alexander, p. 83-94.
Construction et entretien des routes, par Edward P. North, C. E., p. 95-147.
Flexion et résistance transversale des poutres, par Charles E. Emery, Ph. D. p. 149-172.
De l'écoulement de l'eau dans les rivières, par De Volson Wood, C. E., p. 173-179.
Les jetées de la passe Sud du Mississipi. Notes sur la consolidation et la durée des travaux, avec une description des blocs de béton et des autres constructions de l'année dernière, par Max. E. Schmidt, C. E., p. 189-226.
La jetée sur l'Océan, construite à Coney Island, par Charles Macdonal, C. E., p. 227-237.
De la stabilité des constructions en pierre, par William H. Scarles, C. E., p. 238-250.
Projets de canaux interocéaniques, par A. G. Menocal, p. 311-332.
Construction et entretien des routes. Discussion du mémoire de M. Edward P. North, p. 333-378.

N° 32

DES
LONGUEURS VIRTUELLES
D'UN
TRACÉ DE CHEMIN DE FER

Par M. CHARLES BAUM, Ingénieur des ponts et chaussées.

INTRODUCTION.

§ 1. — Exposé.

L'étude du tracé d'une ligne de chemin de fer entraîne, en général, celle de deux ou plusieurs variantes de ce tracé. Toutes ces variantes satisfont à certaines conditions communes, comme par exemple, de passer par des points déterminés, de desservir des villes ou des communes indiquées à l'avance. Elles diffèrent les unes des autres par la longueur, par le profil en long, les rampes, les rayons des courbes, le cube des terrassements, l'importance des ouvrages d'art, la dépense kilométrique, etc.

Quelquefois le choix du tracé définitif dépend de circonstances purement locales; souvent aussi, l'ingénieur se laisse guider dans ce choix par la pensée exclusive de réaliser de notables économies dans la construction, et il ne tient pas un compte suffisant des charges qu'il impose à l'exploitation, par l'emploi fréquent et quelquefois peu justifié de fortes rampes et de courbes raides.

Lorsque l'on se trouve en présence de plusieurs variantes

d'un même tracé de chemin de fer, il conviendrait qu'on ne se prononçât sur l'une ou sur l'autre variante, qu'après avoir établi la *longueur horizontale et rectiligne équivalente* de chacune d'elles, ou encore la *longueur virtuelle*. Cette réduction d'une ligne à profil accidenté en une ligne fictive et équivalente, mais horizontale et en alignement droit, peut être effectuée de diverses manières, suivant la base adoptée dans la comparaison des deux lignes. Ainsi, si l'on se place au point de vue du travail mécanique à développer ou de la résistance à vaincre sur une ligne déterminée, et si l'on cherche la longueur d'une ligne horizontale équivalente, la longueur virtuelle ainsi obtenue est celle relative au travail à développer ou à la résistance à vaincre. Mais au lieu de prendre pour base du calcul le travail mécanique ou la résistance, on aurait pu admettre également comme point de départ, soit les dépenses d'exploitation, soit les dépenses de transport proprement dit, soit les prix des tarifs, soit les vitesses, ou tel autre élément permettant de comparer un tracé quelconque en rampe et en courbe, avec une ligne idéale de niveau et en alignement droit, qui lui serait équivalente. Seulement cette équivalence, au lieu de se produire pour le travail mécanique ou pour la résistance, existerait, soit pour les dépenses d'exploitation, soit pour les dépenses du transport proprement dit, soit pour les tarifs, etc.

Il y a donc pour un seul et même tracé AB, reliant les points extrêmes A et B, diverses longueurs virtuelles, différentes entre elles, variables suivant la base adoptée pour chacune d'elles. Les principales longueurs virtuelles d'une ligne peuvent être classées ainsi :

1° Longueur virtuelle relative au travail mécanique ou à la résistance;

2° Longueur virtuelle relative aux dépenses de l'exploitation;

3° Longueur virtuelle relative aux dépenses du transport proprement dit;

4° Longueur virtuelle relative aux frais de traction;
5° Longueur virtuelle relative au prix des tarifs;
6° Longueur virtuelle relative aux vitesses.

Ces deux dernières catégories de longueurs virtuelles n'ont été que fort peu étudiées dans le passé, quoique la longueur virtuelle d'une ligne relative au prix du tarif soit une donnée très importante à déterminer pour l'exploitation rationnelle des chemins à profil accidenté.

Nous nous occuperons surtout dans la présente étude de la longueur virtuelle relative au travail mécanique, et nous la définirons de la manière suivante :

La longueur virtuelle relative au travail mécanique d'une ligne de chemins de fer AB *en rampe et en courbe, est la longueur d'une ligne idéale horizontale et rectiligne, sur laquelle le travail à développer (ou la résistance à vaincre), à égalité de vitesse, est le même que sur la ligne* AB, *pour le transport d'une tonne de poids brut.*

Il est aisé de s'apercevoir que la définition que nous venons de donner de la longueur virtuelle n'a pas un caractère de généralité permettant d'étendre cette définition aux diverses espèces de longueurs virtuelles qui existent pour une même ligne. Nous avons à dessein limité cette définition à la longueur virtuelle relative à la résistance à vaincre sur le profil de cette ligne. A la suite des recherches que nous avons faites, nous sommes arrivé à la conclusion que la longueur virtuelle relative aux résistances, est, de toutes les longueurs virtuelles d'un tracé, celle qu'il est possible de déterminer avec la plus grande approximation.

Il résulte de cette définition de la longueur virtuelle relative à la résistance d'un chemin que si plusieurs variantes d'un tracé remplissent toutes les conditions imposées par le cahier des charges et par l'acte de concession, l'intérêt bien entendu de l'exploitation exige que la préférence soit donnée à la variante dont la longueur virtuelle est la plus petite : cette variante-là aura, en règle générale, le ser-

vice d'exploitation le plus facile, et donnera lieu aux frais d'exploitation les plus faibles.

On peut ajouter que si deux variantes du même tracé ont des longueurs virtuelles différentes, il serait rationnel, dans la comparaison de ces variantes, de tenir compte de la différence entre les dépenses d'exploitation de l'une et de l'autre. Aux dépenses de construction par kilomètre de la variante dont la longueur virtuelle est la plus grande, faudrait ajouter une somme dont l'intérêt annuel fût égal à la différence positive entre les frais d'exploitation par kilomètre des deux variantes. Alors seulement, on peut procéder à une comparaison judicieuse entre les dépenses des deux variantes.

La détermination de la longueur virtuelle d'une section de chemin de fer présente donc un certain intérêt, puisqu'elle permet de se rendre compte de la difficulté de l'exploitation de cette section. Nous indiquerons d'abord les diverses méthodes en usage ou inventées jusqu'à présent pour calculer les différentes longueurs virtuelles; nous donnerons ensuite le résumé d'une nouvelle méthode que nous proposons pour déterminer la longueur virtuelle relative au travail mécanique, et nous terminerons par quelques applications que nous ferons de cette nouvelle méthode.

CHAPITRE I.

MÉTHODES DE CALCUL DES LONGUEURS VIRTUELLES.

---

§ 2. — Diversité des méthodes.

Les méthodes ou formules employées jusqu'ici pour le calcul de la longueur virtuelle d'une ligne de chemin de fer sont assez nombreuses. Elles sont diverses, quant au fond et quant à la forme ; elles tiennent plus ou moins compte des éléments variables de la question. On peut pourtant les grouper en trois systèmes principaux, à savoir :

1° Système basé sur la détermination de la résistance mécanique à vaincre sur un tracé ;

2° Système basé sur le calcul de la dépense totale d'exploitation ;

3° Système basé sur le calcul de la dépense du transport proprement dit.

Ces trois systèmes principaux de calcul de la longueur virtuelle reposent sur des principes différents. La dépense d'exploitation, en effet, si elle se compose de certains éléments variables avec les rampes et les courbes du profil en long, ou encore avec la résistance de ce profil, tels que consommation de houille, entretien d'une partie du matériel roulant, usure de la voie, service des freins, etc., comprend aussi d'autres éléments entièrement indépendants de la résistance du profil en long de la ligne, tels que frais généraux, service des gares, surveillance de la voie, service commercial, etc. Par suite, dans les dépenses d'exploitation d'une ligne en rampe et en courbe, il y a une partie de dépenses qui sont les mêmes que si la ligne était horizontale et rectiligne, le reste seulement de ces dépenses augmente avec les difficultés d'exploitation que présentent les rampes et les courbes du profil. Il n'en est point ainsi

dans le système de la longueur virtuelle relative au travail mécanique à développer. Les résistances au mouvement des trains sur une ligne en courbe ou en rampe donnent des quantités proportionnelles au travail développé sur cette ligne.

La dépense du transport proprement dit, qui est plus faible que la dépense d'exploitation, contient également des éléments indépendants des rampes et des courbes : ainsi les frais de graissage, une partie des dépenses d'entretien des voitures et wagons, et de celles du personnel des trains, restent sensiblement les mêmes en palier et en rampe.

Ces différences entre les bases des systèmes de calcul de la longueur virtuelle doivent amener des divergences entre les résultats que l'application de chacun d'eux donnerait pour une même ligne.

Nous indiquerons, par ordre chronologique et pour chacun des trois principaux systèmes, les différentes formules et méthodes employées pour la détermination des longueurs virtuelles. Dans ces dernières années, ce sont principalement les ingénieurs et savants suisses, qui ont étudié, avec grand soin, les relations qui lient le profil d'une ligne à la résistance qu'elle présente et à la dépense d'exploitation qu'elle entraîne.

---

§ 3. — 1er système : Longueur virtuelle relative au travail mécanique.

---

a) — *Méthode anglaise de 1838.*

Dans un rapport publié, en 1838, dans le *Civil Engineer and Architect's Journal*, sur les chemins de fer en Irlande, les ingénieurs anglais étudièrent la question de l'influence des pentes et des rampes sur les conditions de l'exploita-

tion des chemins de fer. Ils déterminèrent expérimentalement les longueurs horizontales équivalentes aux rampes et pentes, et consignèrent le résultat de leurs recherches dans huit tableaux (tableaux 5 à 12 du rapport). Les observations furent faites sur quatre catégories de machines. Les charges brutes des trains y compris le poids de la machine et du tender varièrent de 100 tonnes à 30 tonnes. Il y a deux tableaux pour chaque catégorie de machine, et des charges brutes différentes dans chacun de ces deux tableaux.

Nous transcrivons le premier et le dernier des huit tableaux. Chacun d'eux indique pour une série d'inclinaisons du chemin, les longueurs horizontales équivalentes à un kilomètre de ligne se trouvant en rampe ou en pente d'une inclinaison déterminée.

TABLEAU 5. Première catégorie de machines. Charge brute, 100 tonnes.				TABLEAU 12. Quatrième catégorie de machines. Charge brute, 30 tonnes.			
Inclinaison.	Longueurs horizontales équivalentes.			Inclinaison.	Longueurs horizontales équivalentes.		
	Rampe.	Pente.	Moyenne.		Rampe.	Pente.	Moyenne.
mèt.				mèt.			
0,0111	2,50	1,00	1,75	0,0111	2,00	1,00	1,50
0,0105	2,42	1,00	1,71	0,0105	1,95	1,00	1,47
0,0100	2,39	1,00	1,69	0,0100	1,90	1,00	1,45
0,0090	2,23	1,00	1,61	0,0090	1.82	1,00	1,41
0,0083	2,12	1,00	1,56	0,0083	1,75	1.00	1,37
0,0077	2,04	1,00	1,52	0,0077	1,69	1.00	1,34
0,0071	1,96	1,00	1,46	0,0071	1,64	1,00	1,32
0,0062	1,84	0,83	1,33	0,0062	1,56	0,83	1,20
0,0055	1,79	0,83	1,31	0,0055	1,50	0,83	1,16
0,0050	1,67	0,83	1,25	0,0050	1,45	0,83	1,14
0,0040	1,53	0,83	1,18	0,0040	1,35	0,83	1,09
0,0033	1,45	0,83	1,14	0,0033	1,30	0,83	1,06
0,0029	1,38	0,83	1,10	0,0029	1,26	0,83	1,04
0,0025	1,33	0.83	1,08	0,0025	1,22	0.83	1,02
0,0020	1,27	0,83	1,05	0,0020	1,18	0,83	1,01
0,0013	1,18	0,83	1,01	0,0013	1.12	0,88	1,00
0,0010	1,13	0,85	1,00	0,0010	1,09	0,91	1,00
0,0007	1,09	0,90	1,00	0,0007	1,06	0,94	1,00

Quelque imparfaite que soit cette détermination des longueurs horizontales équivalentes, elle n'en constitue pas moins le premier essai fait dans cette voie. Il est à remar

quer que dans cette méthode anglaise les longueurs équivalentes horizontales varient avec la catégorie de machines et l'importance de la charge brute des trains. Elle ne tient compte que des résistances sur les déclivités, et néglige celles que présentent les courbes.

b) — *Méthode de* GHÉGA.

L'ingénieur Ghéga employa le premier le terme de *longueur virtuelle*, dans un travail publié en 1844, sur les chemins de fer de Baltimore et de l'Ohio.

Si l'on représente par

$\frac{1}{m}$ la pente de la ligne,

l la longueur réelle,

Z la somme des angles au centre des courbes divisée par 360°.

L'expression de la longueur virtuelle totale V, en tenant compte des rampes et des courbes, sera

$$V = l\left(1 + \frac{280}{m}\right) + 1.256\,Z,$$

formule exprimée en pieds anglais.

La longueur virtuelle relative aux rampes est

$$l\left(1 + \frac{280}{m}\right).$$

Le chiffre 280 représente le poids de charge brute du train qui correspond à une résistance égale à l'unité.

Quant à la résistance due aux courbes exprimée par 1.256 Z, en pieds anglais, Ghéga obtint cette formule à la suite d'expériences qu'il entreprit en 1842. Les principaux résultats de ces expériences peuvent être résumés comme il suit :

Si r est la résistance sur une section rectiligne en palier,

la résistance supplémentaire à ajouter à r dans le cas où cette section serait en courbe, serait

Pour un rayon de 400 pieds anglais. . . . $\frac{r}{2}$

— de 200 — . . . . r

Ces deux dernières résistances se rapportent à la circonférence entière de la courbe.

c) — *Formule de* CLAUDEL.

Dans la troisième édition de ses « formules, tables et renseignements pratiques, » M. J. Claudel a donné, en 1854, une formule générale du calcul de la résistance totale qui s'oppose au mouvement d'un wagon sur une courbe en rampe. Cette formule a été obtenue à l'aide de calculs et d'expériences faits par divers savants et compagnies de chemins de fer français et étrangers.

Soient :

R cette résistance totale,
P le poids qui repose sur les roues,
p le poids des roues et des essieux,
f le coefficient de frottement des essieux dans leurs boîtes,
d le diamètre des fusées des essieux,
D le diamètre des roues,
f' le coefficient du frottement de roulement des roues sur les rails,
θ un coefficient constant relatif à la résistance de l'air,
ε un coefficient qui dépend du rapport de la longueur du prisme du wagon au côté de sa base,
A la base du prisme en mètres carrés,
V la vitesse du prisme par rapport à l'air, en mètres par seconde,
f'' le coefficient de frottement de fer sur fer à l'état où se trouvent les jantes des roues et les rails,
a demi-largeur de la voie ou demi-longueur de l'essieu,
b demi-distance des essieux,
r rayon de l'arc de courbe suivi par le centre de gravité du rayon,
g l'accélération due à la pesanteur,
f''' le coefficient de frottement du rebord de la roue contre le rail,
c la distance horizontale de la verticale passant par le centre de

gravité de la roue, au point où la partie frottante du rebord de la roue commence à toucher la face latérale du rail,

α l'angle que fait la rampe avec l'horizon,

On a pour la résistance R la valeur

$$R = Pf\frac{d}{D} + (P+p)f' + \theta\varepsilon AV^2 + (P+p)f''\sqrt{a^2+b^2}\frac{1}{r} +$$
$$+ \frac{P+p}{g}\frac{V^2}{r}f'''\frac{2c}{D} \pm (P+p)\sin\alpha.$$

Dans cette formule

$Pf\frac{d}{D}$, représente la résistance due au frottement des essieux,

$(P+p)f'$ la résistance due au frottement des bandages,

$\theta\varepsilon AV^2$ la résistance opposée par l'air au mouvement des wagons,

$Pf\frac{d}{D} + (P+p)f' + \theta\varepsilon AV^2$, la résistance totale à la traction sur un chemin en palier et en ligne droite,

$(P+p)f''\sqrt{a^2+b^2}\frac{1}{r}$, les résistances dues aux courbes,

$\frac{P+p}{g}\frac{V^2}{r}f''\frac{2c}{D}$, la résistance due à la force centrifuge,

$(P+p)\sin\alpha$, la composante du poids parallèle au plan incliné.

Les divers coefficients qui entrent dans la formule peuvent être exprimés comme il suit :

$$f = 0{,}05, \quad f' = 0{,}001,$$

$\frac{d}{D}$ varie de $\frac{1}{12}$ à $\frac{1}{20}$, ordinairement égal à $\frac{1}{14}$,

$\theta = 0{,}0625$,

$\varepsilon = 1{,}10$, lorsque la longueur du prisme est égale à trois fois le côté de la base,

$a = b = 0^m{,}75$,

f'' = 0,03 d'après Coulomb, et 0,192 d'après M. Morin, en moyenne 0,20.

f''' peut être supposé compris approximativement entre 0,30 à 0,40.

La formule de M. Claudel, quoique très complète au point de vue du calcul de toutes les résistances auxquelles est soumis un véhicule, n'est pas d'une application pratique en raison de l'incertitude de quelques-uns des coefficients indiqués par l'auteur. Elle ne s'applique qu'aux résistances dues aux voitures et wagons, et non pas à celles provenant des machines.

d) — *Méthodes saxonnes et badoise* (*).

La direction des chemins de fer de l'État de Saxe a appliqué longtemps la formule suivante pour la détermination de la longueur virtuelle ; dans cette formule, les longueurs sont exprimées en pieds saxons, de $0^m,282$:

$$L' = L + 124,444\,(h + h') + 17,3755\,\Sigma\alpha.$$

Dans cette équation

L' représente la longueur virtuelle,

L la longueur réelle du chemin,

h la somme des hauteurs franchies dans un sens,

h' la somme des hauteurs gravies en sens inverse,

$\Sigma\alpha$ la somme des angles au centre de toutes les courbes.

Les coefficients 124,444 et 17,3755 ont été calculés à l'aide des données de la statistique des années 1858 et 1859.

La formule saxonne admet que la résistance sur les rampes

(*) M. F. Ulbricht, directeur de la statistique des chemins de fer de l'État de Saxe, et notre collègue à la commission internationale de statistique des chemins de fer, a bien voulu nous communiquer les méthodes usitées en Saxe.

M. Ch. Gerhardt, ancien élève de l'École polytechnique, inspecteur de la traction à la compagnie de l'Est, nous a donné les renseignements relatifs à la méthode badoise.

est proportionnelle à la somme des hauteurs gravies dans les deux sens.

Cette hypothèse est très admissible, et donne une approximation suffisante. Mais dans l'évaluation de la résistance opposée par les courbes, cette formule ne tient pas compte du rayon des courbes; elle suppose un rayon moyen sur toute la longueur du profil. C'est là un inconvénient sérieux.

Une seconde formule de la longueur virtuelle a été établie par l'administration des chemins de fer de l'État de Saxe

$$L' = L + \frac{Q}{2W}(h + h') + 0{,}008727 f \frac{Q}{W}(s + b)\Sigma(a).$$

Dans cette formule

L′ est la longueur virtuelle,

L la longueur réelle,

$(h + h')$ la somme des hauteurs franchies dans les deux sens,

Q le poids du train,

W la résistance du train, en palier, à la vitesse de V mètres à la seconde, calculée d'après Redtenbacher (page 560),

f le coefficient du frottement de glissement des roues,

s la largeur de la voie,

b l'écartement des essieux,

$\Sigma(a)$ la somme des angles au centre des courbes, en degrés.

Cette deuxième formule est beaucoup moins simple que la première, sans présenter un degré d'approximation plus grand.

La direction des chemins de fer de l'État de Bade se sert de l'expression suivante pour calculer les longueurs virtuelles,

$$L = l + 200h + 4c.$$

dans laquelle on représente par

L la longueur virtuelle,
l la longueur réelle,
h la hauteur franchie,
c la somme des angles au centre de toutes les courbes.

La direction des chemins de fer badois a publié, en 1872, le tableau des longueurs virtuelles des diverses sections de son réseau. Cette formule des chemins badois est employée pour la répartition des frais de traction suivant le profil des sections. Elle donne par suite les longueurs virtuelles relatives aux frais de traction ; elle admet que l'accroissement de longueur virtuelle est proportionnel à la hauteur franchie, et suppose un rayon moyen des courbes. La formule badoise a été indiquée dans cet alinéa, parce qu'elle présente de l'analogie avec la première formule saxonne.

e) — *Formule de* M. KOCH.

M. R. Koch, chef du bureau technique de la direction des machines des chemins de Cologne à Minden, a indiqué une autre méthode de calcul des résistances que rencontre un train sur une rampe. M. Koch a considéré l'hypothèse d'un train de marchandises à faible vitesse.

Soient W la résistance d'un train de marchandises à faible vitesse sur une rampe $\frac{1}{x}$ (sans locomotive, ni tender),
P le poids du train en kilogrammes,
v sa vitesse en kilomètres, à l'heure,
W_1 les résistances dues à la machine et au tender,
Q le poids de la machine,
Z la résistance totale du train, on a

$$Z = W + W_1.$$

La résistance W a pour expression

$$W = \frac{P}{1000}\left(1 + 0{,}03v + \frac{1000}{x}\right).$$

La résistance W_1 d'après M. Welkner est égale à

$$W_1 = \frac{Q}{1000}\left(M + 0{,}0044v^2 + \frac{1000}{x}\right).$$

Le coefficient M varie suivant la nature de la machine,
M = 6, si la machine est à roues libres,
M = 8, si la machine est à deux essieux couplés,
M = 12, si la machine est à trois essieux couplés, d'où l'on a pour Z la valeur :

$$Z = \frac{P}{1000}\left(1 + 0{,}04v + \frac{1000}{x}\right) + \frac{Q}{1000}\left(12 + 0{,}0044v^2 + \frac{1000}{x}\right).$$

dans le cas d'une machine à trois essieux couplés.

M. Koch se sert de cette formule pour calculer la rampe maxima $\frac{1}{y}$ que la même machine peut remonter à la même vitesse, et en supposant que le train ait été partagé en deux. Il arrive à la conséquence que la rampe $\frac{1}{y}$ d'un chemin de montagne peut être plus de deux fois supérieure à la rampe maxima $\frac{1}{x}$ d'une ligne en terrain peu accidenté.

La compagnie des chemins de fer de Cologne à Minden, a fait de nombreuses expériences pour déterminer les coefficients des équations ci-dessus. La vitesse moyenne des trains était de $32^k{,}537$ par heure.

M. Koch n'a exprimé que la résistance due aux rampes sans s'occuper de celle opposée par les courbes.

f) — Méthode de M. Abt.

M. R. Abt, ingénieur des ateliers de machines à Aarau, en Suisse, donne l'expression suivante de la résistance totale par tonne :

$$R = (a + bv)k + x,$$

dans laquelle on désigne par

v la vitesse,

x la rampe,

k le coefficient de l'augmentation de résistance due aux courbes,

a et b deux coefficients déterminés à l'aide des formules de la compagnie de l'Est français, à savoir :

$$a = 0{,}0017,$$
$$b = 0{,}00008 \text{ (trains de marchandises).}$$

Les valeurs de k indiquées par M. Abt, sont :

Rayon des courbes. mètres.	Valeurs de k.
200	2,8
250	2,5
300	2,25
400	1,9
600	1,3
au delà de 800	1,0

Dans l'étude qu'il fait des machines à simple adhérence et des machines à roues dentées, M. Abt suppose que le coefficient d'adhérence est de 1/6, que la résistance par tonne de train y compris le tender s'élève à 6 kilog., celle de la machine à 10 kilog. par tonne.

La formule de M. Abt est d'une application pratique très facile.

g) — *Formules de* M. Lindner.

M. Lindner, ingénieur suisse, a publié, en 1879, une étude sur la longueur virtuelle d'une ligne de chemins de fer. Si L est la longueur réelle d'une section en rampe, il représente la longueur virtuelle de cette section par aL, et calcule le coefficient a.

En désignant par W_1 la résistance opposée au train par la rampe, et par W la résistance en palier, on a

$$a = \frac{W_1}{W}.$$

La valeur du coefficient a est donnée par l'équation suivante

$$a = \frac{(1,65 + 0,05v)\cos\alpha \pm 1000 \sin\alpha}{1,65 + 0,05v}.$$

Cette équation devient :

1° Si la rampe est inférieure à $0^m,04$

$$a = 1 \pm \frac{m}{2,45 + \sqrt{0,49 - 0,01225\,m}}.$$

2° Si la rampe est supérieure à $0^m,04$

$$a = \cos\alpha \pm \frac{m\cos\alpha}{2,45 - \sqrt{0,00125\,m - 0,05}}.$$

α désigne l'inclinaison de la rampe,

$\frac{1}{m}$ le coefficient de résistance sur un palier rectiligne.

M. Lindner a employé pour le calcul de $\frac{1}{m}$ la formule de MM. Vuillemin, Dieudonné et Guébhard de la compagnie de l'Est français. Voici cette formule pour les trains de marchandises :

$$W = (1,65 + 0,05v)\,Q,$$

si le graissage a lieu à l'huile.

Dans cette formule, W représente la résistance du train, en kilogrammes,

Q le poids du train, en tonnes,

v la vitesse du train, en kilomètres et par heure.

Les valeurs de v varient, pour les trains de marchandises, de 12 à 32 kilomètres.

Le calcul de la résistance des courbes a lieu de la manière suivante :

La longueur d'une section en courbe étant L, la longueur virtuelle de cette section est représentée par bL.

Soient W_2 la résistance opposée au train dans la courbe; W la résistance en palier, on a :

$$b = \frac{W_2}{W}.$$

La valeur de b a été déterminée à l'aide de tableaux calculés par un ingénieur allemand, M. Bœdecker, auteur d'une méthode de calcul de l'influence et de la résistance des courbes.

Les calculs de M. Bœdecker ne s'appliquent qu'à des courbes de rayon supérieur à 300 mètres.

M. Lindner employa pour la détermination de la résistance des courbes de rayon inférieur à 300 mètres, la formule usitée en Allemagne.

$$W = \frac{1}{\alpha R},$$

W étant la résistance due à la courbe, R le rayon de cette courbe. A l'aide d'interpolations faites avec les valeurs de α calculées à l'aide des données de M. Bœdecker, on arrive à déterminer l'inclinaison de la rampe d'une résistance égale à celle de courbes de rayon inférieur à 300 mètres; cette inclinaison une fois connue, on obtient la valeur de b en donnant à la résistance W_2 les valeurs correspondantes aux divers rayons des courbes.

Les valeurs prises pour α sont :

$$\text{Si } R = 250, \qquad \alpha = 1,255,$$
$$R = 200, \qquad \alpha = 1,230.$$

et dans l'hypothèse d'un écartement d'essieux de 3 mètres.

Les coefficients a et b calculés par M. Lindner sont consignés par lui en tableaux; il obtient la longueur virtuelle d'une ligne AB, en déterminant d'abord la longueur virtuelle dans le sens AB, puis la longueur virtuelle dans le sens BA, et en prenant la moyenne de ces deux longueurs.

D'après sa formule, les pentes supérieures à $0^m,0032$ correspondent à des longueurs virtuelles négatives, que M. Lindner néglige dans le calcul de la longueur virtuelle d'une ligne.

M. Lindner ne donne pas à vrai dire de formule complète de la longueur virtuelle totale d'une ligne en rampe et en courbe. Il indique une formule partielle pour les rampes, et s'appuie sur des résultats d'expériences pour le calcul des tableaux des valeurs de *b*. Le travail très approfondi de M. Lindner est un essai très complet tenté pour calculer, d'après les données expérimentales, la longueur virtuelle relative au travail mécanique, et à ce titre, on ne saurait trop féliciter cet ingénieur de l'avoir entrepris et mené à bonne fin.

Nous critiquerons la méthode de M. Lindner à un point de vue :

Il ne tient pas assez compte de la résistance au roulement des machines et tenders, en assimilant cette résistance par tonne à celle d'une tonne du train de véhicules. Nous verrons plus loin que cette résistance est de beaucoup supérieure à celle d'une tonne de train.

Il fait abstraction du type de la machine remorquant les trains de marchandises.

Nous remarquerons aussi qu'il néglige les pentes dans le calcul des longueurs virtuelles des lignes auxquelles il applique sa méthode, lorsque l'inclinaison de ces pentes est supérieure à $3^{millim},2$. Sur des pentes plus fortes, la formule de M. Lindner donne des longueurs virtuelles négatives qu'il laisse de côté dans le calcul de la longueur virtuelle d'un tracé de chemin de fer. Nous reviendrons sur cette question des longueurs virtuelles des pentes dans le chapitre III.

h) — *Formule de* M. Stocker.

M. Stocker, ingénieur en chef du service de la traction et des ateliers du chemin de fer du Saint-Gothard, a évalué

de la manière suivante la longueur virtuelle d'une ligne exploitée par des machines à simple adhérence.

Si l'on appelle

V la longueur réelle du chemin,

V_1 la longueur virtuelle,

m la rampe ou la pente en millimètres,

R le rayon de la courbe,

on obtient l'expression de V_1 sur une rampe et une courbe

$$V_1 = V\left(1 + 0{,}3147\,m + 0{,}00319\,m^2 + \frac{0{,}233 + 0{,}0052\,m}{R}\right).$$

Dans le cas d'une pente, on aurait

$$V_1 = V\left(1 - 0{,}265\,m + 0{,}00372\,m^2 + \frac{0{,}233 + 0{,}0052\,m}{R}\right).$$

Dans ces deux formules, l'influence de la rampe ou de la pente est exprimée, par $+ 0{,}3147\,m + 0{,}00319\,m^2$ dans le cas d'une rampe, et par $- 0{,}265\,m + 0{,}00372\,m^2$ dans le cas d'une pente. Le quatrième terme de la parenthèse donne la valeur de l'augmentation de la longueur virtuelle due à la résistance des courbes ; cette augmentation a pour expression

$$\frac{0{,}233 + 0{,}0052\,m}{R}.$$

La formule de M. Stocker est une des plus simples qui aient été établies pour le calcul des longueurs virtuelles. Il admet que la résistance sur une rampe par tonne de machine est triple de celle d'une tonne du train de véhicules. Dans les courbes, il suppose la résistance par tonne de machine double de celle d'une tonne du train de véhicules.

i) — *Comparaison des formules.*

Il est intéressant de comparer entre eux les résultats que donnent les diverses formules que nous avons indiquées pour calculer la longueur virtuelle relative à la résistance.

Pour simplifier la comparaison, nous considérerons le cas d'une section en alignement droit et en rampe d'une inclinaison variant de 5 en 5 millimètres, depuis 1 millimètre jusqu'à 30 millimètres. On obtient les chiffres indiqués au tableau suivant :

RAMPES.	MÉTHODE anglaise.	GHÉGA.	ABT.	LINDNER.	STOCKER.
millim.					
1	1,13	1,28	1,27	1,32	1,32
5	1,67	2,40	2,35	2,61	2,65
10	2,39	3,80	3,70	4,27	4,47
15	»	5,20	5,06	6,00	6,54
20	»	6,60	6,40	7,80	8,56
25	»	8,00	7,76	9,68	10,87
30	»	9,40	9,01	11,71	13,31

Ce tableau donne, pour des rampes variables, la longueur virtuelle équivalente à 1 kilomètre de longueur réelle. On remarquera que plus la formule est de date récente, plus la longueur virtuelle augmente pour une même rampe. A mesure, en effet, que les méthodes se perfectionnent, on tient compte d'un plus grand nombre d'éléments influant sur la valeur de la longueur virtuelle. Ainsi la formule de M. Lindner ne tient pas un compte suffisant de la résistance due à la machine. M. Stocker a augmenté cette résistance de la machine, et les longueurs virtuelles qu'il obtient sont supérieures à celles résultant de la formule de M. Lindner. Lorsque la rampe augmente, la différence entre les résultats des diverses méthodes doit aller en s'accentuant.

---

§ 4. — 2e système : Longueur virtuelle relative aux dépenses d'exploitation.

Quelques ingénieurs se sont contentés de donner une formule de calcul de la dépense d'exploitation sur une ligne en rampe et en courbe, et n'en ont pas déduit la lon-

gueur virtuelle de la ligne. Nous indiquerons les principales de ces formules de calcul de la dépense d'exploitation. Connaissant cette dépense d'exploitation sur un chemin en rampe, il suffira de la diviser par la dépense d'exploitation correspondant à un chemin horizontal pour avoir au quotient la longueur virtuelle cherchée.

a) — *Formule de* MINARD.

Dans une étude *des pentes sur les chemins de fer de grande vitesse*, publiée en 1844, *Minard*, alors inspecteur divisionnaire des ponts et chaussées, cherche à apprécier l'influence des déclivités au point de vue des frais de transport sur les chemins de fer ; il arrive à la formule suivante :

La dépense qui concerne les pentes seules, quand elles ne sont pas extraordinaires, n'est pas en moyenne de 3 p. 100 des dépenses générales.

Les pentes modérées dont Minard parle dans sa formule, ne dépassent pas 5 ou 6 millimètres par mètre. Il estime, en outre, que pour les convois de grande vitesse, l'air et les frottements opposent une résistance presque égale à l'effort nécessaire pour monter une rampe de 5 millimètres.

b) — *Formule de* M. ROECKL (*).

La méthode de M. *Roeckl*, ingénieur bavarois, connue depuis 1860, est basée sur le principe suivant : La résistance opposée par la section la plus difficile d'une ligne de chemins de fer détermine le poids des trains à faire circuler sur cette ligne. Il suffisait, d'après ce principe, de

(*) Nous avons puisé les éléments relatifs à la détermination de la formule de Roeckl et de celle de Ghéga, dans l'ouvrage publié par M. Lindner, ingénieur suisse, sous le titre : « *Die Virtuelle Laenge und ihre Anwendung auf Bau und Betrieb der Eisenbahnen.* » — M. Roeckl, directeur de la construction des chemins de fer bavarois, a entrepris, en 1878, de nouvelles études et expériences sur la résistance des courbes. Les résultats n'ont pas encore été publiés.

chercher le point de la ligne ayant la rampe la plus forte et la courbe la plus raide. M. Roeckl avait commencé par convertir la résistance sur les courbes en résistances équivalentes sur des rampes, et était arrivé aux résultats suivants :

La résistance sur une courbe de

mèt.				millim.
300	de rayon équivaut à	celle d'une rampe	de	6,25
360	id.	id.	de	5,30
450	id.	id.	de	3,57
540	id.	id.	de	2,40
600	id.	id.	de	1,40
au delà de 700	id.	à celle d'un palier.		

M. Roeckl admet comme valeur de la résistance en palier, le même chiffre que Ghéga, $\frac{1}{280}$, c'est-à-dire qu'il faut exercer un effort de traction de 1 kilog. en palier, pour traîner 280 kilog. de charge brute.

Cela posé, si la rampe maxima d'une ligne est de $0^m,01$, si, en outre, la courbe la plus raide sur cette rampe a un rayon de 360 mètres, la résistance R par tonne du train sera :

$$R = \frac{1}{280} + 0,01 + 0,00530 = 0,01887.$$

La résistance du train sera de 0,01887 du poids de ce train.

La formule adoptée par M. Roeckl dans le calcul des dépenses d'exploitation est :

$$D = 3600 + 210.000\,R.$$

La dépense D étant exprimée en florins bavarois.

Le but que se proposait M. Roeckl, en calculant la dépense probable d'exploitation, était de déterminer le capital dont cette dépense représentait l'intérêt annuel; en d'autres termes, il capitalisait la dépense d'exploitation, et ajoutait ce capital à la dépense de construction. Il détermi-

nait pour les divers tracés qu'il étudiait, des sommes analogues, à l'aide desquelles il faisait la comparaison de ces tracés entre eux.

Les valeurs de la résistance R et de la dépense d'exploitation D, établies d'après les formules de M. Roeckl, sont trop élevées; il admet, en effet, et sans tenir compte de l'intensité du trafic, que la rampe maxima et la courbe la plus raide d'une section de ligne s'appliquent à toute la longueur de la section.

c) — *Formule de* M. DE FREYCINET.

Dans son traité *des pentes économiques des chemins de fer*, publié en 1861, M. *de Freycinet*, alors chef de l'exploitation des chemins de fer du Midi, évalue comme il suit la dépense d'exploitation sur une rampe.

Soient :

E les frais d'exploitation sur un kilomètre de rampe,
K l'ensemble des dépenses d'exploitation indépendantes de la pente,
H la hauteur à franchir,
h la pente par mètre,
Q le poids total transporté par kilomètre sur la rampe dans les deux sens,
ϖ le poids d'une machine (y compris son tender et son approvisionnement d'eau et de coke),
r la résistance opposée par tonne à la traction horizontale,
q le poids moyen d'un véhicule affecté au transport du trafic,
ε la dépense moyenne d'un frein,
n le nombre de machines nécessaires au transport du poids $\frac{1}{2}Q$,
α la dépense kilométrique d'une machine circulant seule sur un palier,
a la dépense kilométrique d'une tonne sur un palier,
δ la quantité dont il faut diminuer la dépense α lorsque la machine descend la rampe,
A la dépense des stations et du contrôle pour la rampe entière $\frac{H}{1000h}$,
B la dépense d'entretien des bâtiments de toute nature, de sur-

veillance de la voie, d'entretien et de renouvellement de la voie, afférente à toute la longueur de la rampe,

β le chiffre d'usure produite, par machine, sur la rampe.

La dépense E faite sur un kilomètre de rampe peut se mettre sous la forme :

$$E = K + 2n\left(\alpha - \frac{1}{2}\delta\right) + \frac{1}{2}aQ + \left(\frac{1}{2}Q + n\varpi\right)\frac{ah}{r} + \\ + A\frac{1000\,h}{H} + 10\varepsilon\frac{Q}{q}h + B\frac{1000\,h}{H} + 2n\beta.$$

Dans cette formule, l'ensemble des frais de traction et d'entretien des machines est exprimé, à la montée de la rampe, par :

$$n\alpha + \frac{1}{2}aQ + \left(\frac{1}{2}Q + n\varpi\right)\frac{ah}{r},$$

à la descente, par :

$$n(\alpha - \delta).$$

La dépense kilométrique du service des stations et du contrôle est représentée par :

$$A\frac{1000\,h}{H}.$$

Le terme $10\varepsilon\frac{Q}{q}h$ est égal à la dépense kilométrique des freins.

La dépense kilométrique du service des bâtiments et de la voie figure dans la formule par le terme $B\frac{1000\,h}{H}$.

Toutes les dépenses indépendantes de la pente, à quelque service d'exploitation qu'elles appartiennent, sont comprises dans la valeur de K.

Dans les applications numériques que M. de Freycinet fait à la fin de son ouvrage, il donne la valeur des principaux coefficients contenus dans sa formule de la dépense

d'exploitation. L'auteur s'est servi, pour établir ces coefficients, des résultats de l'exploitation de la compagnie du Midi, en 1860. Voici l'expression numérique des principaux coefficients :

r = 5 kilog. (résistance par tonne à la traction horizontale).
α = 0f,820, dépense kilométrique d'une machine marchant à vide sur un palier,
δ = 0f,05, différence entre la consommation de combustible d'une locomotive marchant à vide sur une ligne horizontale et sa consommation à la descente des fortes rampes,
a = 0f,0015, frais de traction par tonne brute remorquée.
β = 0f,23, dépense d'entretien de la voie par passage de machine,
b = 10 tonnes, poids moyen d'un véhicule chargé,
ε = 0f,025, dépense par kilomètre parcouru par un wagon à freins,
K = 2980 francs.

Si l'on met K sous la forme :

$$K = cQ.$$

Q étant le poids transporté sur un kilomètre de chemin, le coefficient c, qui représente la dépense par tonne a, pour la compagnie du Midi, la valeur :

$$c = 0^f,0043.$$

Le poids d'une machine, y compris le tender et les approvisionnements, est de 46 tonnes.

Dans le cas où le nombre des stations sur la rampe est indépendant de l'inclinaison adoptée, on peut, dans l'expression de la dépense E, supprimer les coefficients A et B et attribuer à K une valeur modifiée en conséquence.

La formule de la dépense d'exploitation totale E sur une rampe peut servir, suivant qu'on tiendra compte du terme K ou qu'on le laissera de côté, à calculer la longueur virtuelle relative à la dépense d'exploitation ou celle relative à la dépense de transport; il suffira de connaître la dépense d'exploitation ou la dépense de transport sur un palier.

d) — *Formule de* M. Heyne.

M. *Heyne*, ingénieur autrichien, dans une étude publiée en 1865, indique une formule de calcul des dépenses d'exploitation d'une ligne en rampe.

En désignant par :

R″, les dépenses annuelles, par mille (*), exprimées en florins autrichiens;

E′, les recettes brutes annuelles, par mille;

$\frac{1}{g}$, la rampe du chemin;

c', une constante variant avec la valeur de E′,

M. Heyne arrive à l'expression suivante :

$$R'' = c' + 0{,}182\,E' + \frac{(c' + 0{,}182\,E')40{,}6}{g}.$$

Si l'on a :

$$E' \lesseqqgtr 75.000 \text{ florins},$$

la valeur de c' devient 13.470 florins. Si, au contraire, E′ est plus grand que 75.000 florins, le coefficient c' est égal à 23.070.

La formule de Heyne ne contient aucun terme relatif à la résistance des courbes, et ne s'occupe que de la résistance due aux rampes.

e) — *Méthodes italiennes.*

L'ingénieur italien, M. *Rombeaux*, membre de la deuxième grande commission d'enquête instituée en 1864, par le gouvernement italien, pour donner son avis sur les divers tracés devant franchir les Alpes helvétiques, a indiqué, dans l'annexe V du rapport, présenté en 1865, par cette commission, une formule de calcul des distances virtuelles.

(*) La valeur du mille autrichien en kilomètres est de 7^{km},5859. Le florin autrichien, au pair, vaut 2^{f},50.

M. Rombeaux considère comme équivalentes à une ligne horizontale, au point de vue des frais d'exploitation, toutes les lignes qui ne présentent pas de rampes supérieures à 6 millimètres, lorsque le trafic est égal dans les deux sens.

Néanmoins, M. Rombeaux est conduit à ne calculer les distances virtuelles que pour les rampes supérieures à 10 millimètres. Il détermine trois espèces de longueurs virtuelles : celle relative aux dépenses d'exploitation, celle relative aux prix des tarifs, et enfin celle correspondant à la vitesse des trains.

Si H désigne la hauteur à franchir, le terme additionnel de la distance virtuelle relative aux frais d'exploitation sera, d'après lui, une longueur égale à 60 H.

Les distances virtuelles correspondant aux prix du tarif, distances qu'il faut ajouter à la longueur réelle d'une ligne de montagne, ont pour expression 33 H ou 20 H, selon qu'il s'agit du trafic de transit ou du commerce international. L'hypothèse admise par M. Rombeaux, comme base de ses calculs, est que le bénéfice par chaque unité de trafic transportée à 1 kilomètre, doit être le même sur les chemins de montagne et sur ceux de plaine.

M. Rombeaux a adopté l'hypothèse de l'égalité des bénéfices. Ce n'est là qu'un cas particulier de la question : il aurait pu prendre un rapport quelconque entre le bénéfice en plaine et le bénéfice en pays de montagne. On eût aussi pu admettre un bénéfice proportionnel à la dépense d'exploitation, ou à celle de transport; on eût pu également prendre une dépense d'exploitation majorée d'une part proportionnelle à l'intérêt et à l'amortissement du capital de construction. Lorsque, par le fait de la concurrence, le tarif devient égal au prix de revient du transport, la longueur virtuelle relative aux tarifs est égale à celle relative aux dépenses d'exploitation.

Le terme additionnel des distances virtuelles lorsqu'il 'agit des vitesses des convois a pour valeur 45 H.

Les longueurs virtuelles déterminées d'après cette méthode ne contiennent aucun terme relatif aux courbes. En outre, les longueurs virtuelles sont rapportées à celle d'une ligne en rampe de 10 millimètres. Or la résistance qu'oppose à la circulation d'un train de poids déterminé, une ligne en rampe de 10 millimètres est presque quadruple de celle que le même train doit vaincre sur une section en palier.

M. Ruva (*) ingénieur italien a appliqué les chiffres suivants au calcul de l'augmentation des dépenses de transport proprement dit sur des rampes de diverses inclinaisons.

Rampes. millim.	Coefficient d'augmentation des dépenses de transport.
6	1,0
12	1,5
18	2,0
24	2,5

Le colonel italien, *M. La Nicca*, dans une note communiquée, en 1864, à la commission technique italienne, admet les résultats suivants :

Rampes. millim.	Progression des dépenses d'exploitation correspondantes.
7	10
10	12
18	18
20	20
25	25

D'après ces chiffres, il y aurait presque proportionnalité entre les dépenses d'exploitation et les rampes. Cette formule a, dans tous les cas, le grand avantage d'être très simple.

(*) Nous aurions dû faire figurer la formule de M. Ruva dans le paragraphe suivant. Nous avons voulu réunir en un seul groupe les diverses méthodes dues à des ingénieurs italiens.

f) — *Méthode de* M. Menche de Loisne.

M. Menche de Loisne, ingénieur en chef des ponts et chaussées, a publié dans les *Annales des ponts et chaussées* de 1879, une méthode de calcul du prix de revient moyen du transport en transit d'une tonne kilométrique, à mesure que l'inclinaison des rampes augmente.

L'auteur admet que sur des lignes considérées en palier ou en quasi-palier, et dont les rampes varient de 0,00 à 0^m,005 (ancien réseau de la compagnie du Nord), le prix de revient moyen du transport d'une tonne à 1 kilomètre s'élève à 0^f,0251; M. Menche de Loisne en déduit les valeurs suivantes du prix de revient :

Rampes.	Prix de revient par tonne nette kilométrique
mèt. mèt.	fr.
de 0,00 à 0,005	0,0251
0,007	0,0272
0,009	0,0286
0,011	0,0303
0,013	0,0329
0,015	0,0364
0,017	0,0416
0,020	0,0581
0,023	0,0622
0,030	0,0756

Ces prix de revient sont déterminés jusqu'à la rampe de 0,017, à l'aide des données statistiques de la compagnie du Nord, et à partir de la rampe de 0,020 avec celles de la compagnie d'Orléans.

A l'aide des chiffres précédents, on a transformé le parcours en profil accidenté, en parcours sur un quasi-palier, pour la région exploitée par la compagnie du Nord jusqu'à la rampe de 0,017, et pour le réseau de la compagnie d'Orléans au delà des rampes de 0,017.

Rampes. mèt. mèt.	Réduction de 1 kilomètre de profil accidenté en kilomètres de quasi-palier.
de 0,00 à 0,005	1,000
0,007	1,108
0,009	1,139
0,011	1,208
0,013	1,310
0,015	1,452
0,017	1,658
0,020	2,314
0,023	2,478
0,030	3,212

Les longueurs réduites du tableau précédent sont toutes rapportées à une rampe moyenne comprise entre 0,000 et 0,005, et qui d'après une note de l'auteur serait 0,003.

g) — *Formule de* M. Culmann.

M. Culmann, professeur à l'École polytechnique de Zurich, a indiqué la formule suivante de la dépense d'exploitation par kilomètre de ligne :

$$K = a + b\tau + E\tau + F\tau + [c + K\tau + (\gamma + x\tau)Z]\,\frac{(\tau + \tau')\mu}{\zeta - \tau - \tau'}.$$

dans cette formule

$a + b\tau$ représentent les dépenses générales,

τ est la rampe,

$E\tau$ la dépense des gares,

$F\tau$ la dépense des trains,

$[c + K\tau + (\gamma + x\tau)Z]\,\frac{(\tau + \tau')\mu}{\zeta - \tau - \tau'}$ la dépense de traction,

τ' la résistance par tonne, égale, en moyenne, à 6 kilog.,

ζ le coefficient d'adhérence égal, en moyenne, à 0,16,

Si M désigne le poids de la machine, μM le poids total à transporter, et T le poids du train, $\frac{\mu M}{T}$ indiquera le nombre des trains par an, et M. Culmann pose

$$(T + M)(\tau + \tau') = z = \zeta M,$$

d'où

$$\frac{\mu M}{T} = \frac{(\tau + \tau')\mu}{\zeta - \tau - \tau'},$$

Dans cette expression, le coefficient τ' de la résistance s'applique aussi bien aux véhicules qu'à la machine du train.

M. Culmann calcule le coefficient de la formule dans deux hypothèses :

1° Grand trafic. . . . . 1.080.000 tonnes.
2° Faible trafic. . . . . 108.000 —

Il obtient pour les chemins de fer suisses :

		Dépenses d'exploitation.	Dépenses d'exploitation et d'intérêt du capital.
a		8.000	26.000
b		10.000	10.000
E	Grand trafic	125.000	150.714
	Faible trafic	12.500	25.357
F	Marchandises	0,35	0,444
	Voyageurs	0,1	0,125
c		0,3	0,46
γ		0,4	0,47

Les valeurs de K et de x sont

$$K = 1,5 \text{ et } x = 0,6.$$

F est la somme totale des dépenses des trains quand on s'élève de 1 kilomètre.

h) — *Méthode de* M. DE SZABÒ.

M. Jules de Szabò, professeur à l'École polytechnique hongroise de Buda-Pest, a établi théoriquement la dépense d'exploitation d'un chemin de fer, par kilomètre et par an. Il est arrivé à l'expression suivante des dépenses d'exploitation K :

$$K = c + 0,0015\,T' + 0,00006\,T'' +$$
$$+ \frac{T'}{t'}\left[0,15 + \alpha' t' (0,00009 + 0,021\,\tau)\right] +$$
$$+ \frac{T''}{t''}\left[0,225 + \alpha'' t'' (0,00003 + 0,01\,\tau)\right] +$$
$$+ \left[(0,00006 + 0,003\,\tau) + 0,015\,f(0,004 + \tau)\right] \times$$

$$\times\left[\frac{T'}{t'}(\alpha' t' + S') + \frac{T''}{t''}(\alpha'' t'' + S'')\right].$$

dans laquelle

c représente les dépenses kilométriques annuelles indépendantes du trafic,

T' l'intensité du trafic de voyageurs en quintaux de 50 kil.,

T'' l'intensité du trafic kilométrique de la petite vitesse,

t' le poids utile d'un train de voyageurs,

t'' le poids utile d'un train de marchandises,

$\alpha' t'$ le poids brut d'un train de voyageurs,

$\alpha'' t''$ le poids brut d'un train de marchandises,

τ la rampe moyenne de la ligne,

f le prix du quintal de houille,

S' le poids d'une machine d'un train de voyageurs,

S'' le poids d'une machine d'un train de marchandises.

M. de Szabò a calculé l'influence qu'exerçait la rampe moyenne τ sur les dépenses d'exploitation, à l'aide de la série de Maclaurin. Il arrive, à la fin de son étude, aux deux conséquences suivantes déduites de ses formules :

1° Sur les lignes de montagne, à fort trafic (Semmering), la rampe maxima ne doit pas dépasser $0^m,0236$;

2° Sur les lignes de montagne, à trafic moyen, la rampe maxima doit s'élever au plus à $0^m,0281$.

La formule théorique de M. de Szabò est assez compliquée, et d'une application pratique un peu longue.

i) — *Méthode de la compagnie des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée.*

Sous la direction de *M. Noblemaire*, directeur de l'exploitation de la compagnie de Paris à Lyon, *M. Amiot*, ingénieur des mines, au service de la même compagnie, a établi, pour le calcul du prix de revient d'une tonne kilométrique, la formule

$$(1)\quad X_A = 1,44 + 0,073\,i\left(1 + \frac{225}{f + 100}\right) + \frac{390}{f} + \frac{175}{f + 100}.$$

i représente la rampe fictive moyenne. On l'obtient en prenant la rampe fictive correspondant à chaque section de charge, dans chaque sens, et en calculant la moyenne. On s'est servi à cet effet du livret des charges des trains, établi par le service de la traction,

f est la fréquentation diurne moyenne de la ligne, dans chaque sens. On a

$$f = \frac{P}{730\,L}.$$

P étant le tonnage kilométrique annuel des marchandises, L la longueur de la ligne.

L'équation (1) a été ramenée à une forme plus simple, donnant des résultats très peu différents de ceux de l'équation (1),

$$(2) \qquad X_B = 1{,}46\,(1 + 0{,}05\,i)\left(1 + \frac{285}{f}\right).$$

L'expression de X_A a été mise sous forme de tableau à double entrée donnant le prix de revient en centimes pour une rampe et une fréquentation données :

RAMPE fictive moyenne.	PRIX DE REVIENT en centimes, par tonne et kilomètre, pour une fréquentation de						
	∞	2000	1000	500	300	100	50
0	1,44	1,72	1,99	2,51	3,18	6,21	10,41
5	1,80	2,12	2,43	3,01	3,75	6,99	11,32
10	2,17	2,53	2,87	3,51	4,32	7,77	12,23
15	2,53	2,93	3,31	4,02	4,89	8,54	13,14
20	2,90	3,33	3.75	4,52	5.46	9,32	14,06
25	3,26	3,74	4,19	5,02	6,03	10,09	14,97
30	3,63	4,14	4,63	5,52	6,60	10,87	15,88

M. Amiot a comparé les résultats obtenus par les formules (1) et (2), avec ceux établis à l'aide des dépenses effectives, et est arrivé à la conclusion que l'erreur moyenne de la formule (1) était de 16,1 p. 100, et l'erreur moyenne de la formule (2) de 17,6 p. 100.

Dans les *Annales des mines* de 1879, M. Amiot étudie l'influence des pentes sur le prix de revient kilométrique d'une tonne de marchandises de petite vitesse, et arrive au résultat suivant :

Lorsque deux localités sont reliées par deux ou plusieurs chemins, il convient de choisir pour y faire passer les marchandises, de l'une à l'autre de ces localités, celui de ces chemins pour lequel le produit

$$L(1+0{,}05i),$$

est un minimum.

L est la longueur du chemin, et i sa rampe fictive moyenne.

Les choses se passent comme si la longueur du chemin était majorée de 5 p. 100 par chaque millimètre de rampe fictive.

La conclusion pratique de l'étude de M. Amiot est que 1 kilomètre devra être compté

Pour	1000	mètres si la rampe varie de	0 à 5	millimètres.
—	1200	—	....	5,1 à 10	—
—	1400	—	....	10,1 à 15	—
—	1600	—	....	15,1 à 20	—
—	1800	—	....	20,1 à 25	—
—	2000	—	....	25,1 à 30	—
—	2200	—	....	50,1 à 35	—

L'importance du réseau de la compagnie de Paris à Lyon et à la Méditerranée, donne un grand intérêt aux résultats que nous venons d'indiquer.

k) — *Comparaison des résultats des diverses méthodes.*

La réunion en un seul tableau des résultats donnés par quelques-unes des précédentes méthodes de détermination de la longueur virtuelle relative aux dépenses d'exploitation, fait toucher du doigt le défaut qui est commun au plus grand nombre d'entre elles.

L'unité adoptée n'est pas fixe, mais varie presque d'une méthode à l'autre. Ainsi le tableau suivant qui résume ces méthodes, indique que :

RAMPE en millimètres.	MÉTHODE italienne.	MÉTHODE suisse.	MENCHE DE LOISNE.	P. L. M. (Fréquentation 1000)
millim.				
0.0	»	»	1,000	1,000
5,0	»	»	1,000	1,22
7,0	1,0	»	1,108	»
9,0	»	»	1,139	»
10,0	1,2	1,0	»	1,44
11,0	»	»	1,208	»
13,0	»	»	1,310	»
15,0	»	1,19	1,452	1,66
17,0	»	»	1,658	»
18,0	1,8	»	»	»
20,0	2,0	1,40	2,314	1,88
23,0	»	»	2,478	»
25,0	2,5	1,62	»	2,11
30,0	»	1,85	3,212	2,33
35,0	»	2,11	»	»
40.0	»	2,39	»	»
45,0	»	2,69	»	»
50,0	»	3,00	»	»

L'unité adoptée est tantôt la dépense sur une rampe de 10 millimètres, tantôt celle correspondant à la rampe de 7 millimètres, tantôt celle relative à une rampe moyenne entre 0 et 5 millimètres. Il résulte de là qu'une comparaison rigoureuse entre les résultats du tableau précédent ne pourrait être faite qu'en ramenant les chiffres des diverses colonnes à une même unité, qui devrait être la dépense d'exploitation sur une ligne en palier. En outre, la plupart de ces résultats ont été établis sans avoir égard à l'intensité du trafic.

---

§ 5. — 3e système : Longueur virtuelle relative à la dépense de transport.

Il nous reste à indiquer les méthodes employées pour le calcul des dépenses de transport et des longueurs virtuelles correspondantes. Quelquefois, dans une même mé-

thode, on trouvera la dépense de transport et la dépense d'exploitation que nous n'avons pas séparées, afin de ne pas détruire l'unité de la méthode.

a) — *Méthodes suisses* (*).

Le message du 11 septembre 1873, adressé par le conseil fédéral suisse à la chambre fédérale, renferme une méthode de calcul des longueurs virtuelles. Elle est due à *l'inspectorat technique des chemins de fer suisses.*

L'unité adoptée est la dépense de transport proprement dite, ou, comme dit le message, la résistance sur une ligne en rampe de 10 millimètres. Voici les chiffres auxquels est arrivé le département fédéral des chemins de fer.

RAMPES	COEFFICIENT de la dépense de transport (Résistance).	COEFFICIENT de la dépense d'exploitation.
mèt.		
0,010	1,00	1,00
0,015	1,38	1,19
0,020	1,80	1,40
0,025	2,24	1,62
0,030	2,70	1,85
0,035	3,22	2,11
0,040	3,78	2,39
0,045	4,38	2,69
0,050	5,00	3,00

On a admis que la dépense d'exploitation sur une rampe de 10 millimètres était représentée par l'unité.

Par dépenses de transport, il faut entendre :

1° Celles des matières consommées, telles que houille, graisse, etc. ;

(*) M. Heussler von der Mühl, membre du comité de direction du chemin de fer Central suisse et notre collègue à la commission internationale de statistique des chemins de fer, a bien voulu nous faire parvenir les documents dans lesquels nous avons trouvé les méthodes suisses et italiennes.

2° Celles du personnel des trains ;

3° L'entretien des machines, voitures et wagons.

Nous remarquerons que la dépense de transport ainsi définie n'est pas rigoureusement proportionnelle à la résistance sur les rampes ; car, dans ces dépenses, il entre des éléments indépendants de la rampe, tels que graissage, entretien d'une partie du matériel roulant. On peut ajouter du reste que fort peu d'ingénieurs ont défini de la même manière les dépenses de transport.

Le message en question contient encore un deuxième système de calcul des longueurs virtuelles. La base adoptée cette fois n'est plus la dépense de transport sur une rampe de 10 millimètres, mais la dépense sur une rampe de 6 millimètres. Nous mentionnons les chiffres indiqués par le département fédéral, ainsi que ceux trouvés, en partant de la même unité, par *M. Koller*, inspecteur du chemin de fer du Saint-Gothard.

RAMPES.	COEFFICIENT de la dépense de transport	
	d'après M. Koller.	d'après le département fédéral.
mèt.		
0,006	1,00	1,00
0,012	1,57	1,58
0,018	2,20	2,21
0,024	2,89	2,90
0,030	3,68	3,75
0,036	4,55	4,65
0,042	5,54	5,56
0,048	6,69	6,70

Les résultats consignés dans les deux tableaux précédents ne sont pas susceptibles d'une application générale, et ne peuvent être employés que dans l'hypothèse toute spéciale dans laquelle ils ont été établis ; l'usage de la méthode est restreint, puisqu'elle rapporte toutes les dépenses de transport, d'une part, à celles d'une rampe de 10 millimètres, d'autre part, à celles d'une rampe de 6 millimètres.

M. Lommel, ingénieur suisse, dans une étude sur les passages du Simplon, Saint-Gothard et Lukmanier arrive à la conclusion qu'il faut augmenter la longueur réelle d'un chemin de 1 kilomètre pour gravir une hauteur de 10 mèt. Il est arrivé à ce résultat par des calculs établis sur la différence des dépenses d'exploitation des sections en plaine et en rampe. D'après lui, par conséquent, la longueur virtuelle d'un kilomètre d'une ligne en rampe de 25 millimètres serait $3^k,500$.

M. Hellwag, ingénieur autrichien, qui a été, pendant trois années environ, le directeur des travaux de percement du tunnel du mont Saint-Gothard, a employé, en 1876, pour le calcul des longueurs virtuelles des rampes du Saint-Gothard, une formule dans laquelle il n'a fait entrer que les hauteurs absolues gravies par la ligne. Il s'agissait sur le mont Saint-Gothard de l'emploi de rampes de $0^m,025$. M. Hellwag est arrivé à la conclusion suivante :

Lorsqu'on s'élève de 10 mètres sur une rampe de $0^m,025$, l'allongement de la longueur équivalente horizontale est égal à 800 mètres. Il résulte de là qu'un kilomètre en rampe de $0^m,025$ équivaut à 3 kilomètres de longueur virtuelle.

b, — *Formules de* M. Launhardt.

M. *Launhardt*, directeur de l'École polytechnique de Hanovre, a publié, en 1877, de nouvelles formules devant servir au calcul des dépenses de transport et des longueurs virtuelles. Sans entrer dans les détails d'établissement de la formule, qui sont très longs, nous nous contenterons d'indiquer cette formule.

Si l'on désigne par :

K, la dépense de transport d'une tonne de poids brut sur toute la ligne ;

f, les frais de construction et d'entretien du matériel roulant par tonne brute kilométrique ;

e, les dépenses kilométriques des serre-freins;

s, la rampe fondamentale d'une ligne. Cette rampe est, en général, la plus forte d'une ligne, à moins qu'elle ne puisse être franchie par élan;

B_0, les dépenses kilométriques de la machine marchant à vide;

B_1, la dépense par kilomètre d'une machine marchant plein collier,

On a $B_1 = 62,5 + 30\,Z$, en centimes,

ou encore $B_1 = 62,5 + 30\,zL$.

W, la résistance par tonne brute;

L, le poids de la locomotive et du tender;

Z, l'effort tangentiel exercé par les roues motrices;

z, le coefficient de traction,

on a $$Z = zL,$$

l_0, la somme des longueurs de toutes les sections de ligne en rampe sans influence.

M. Launhardt appelle rampes sans influence, celles dont l'inclinaison s_0 est assez faible pour que la vitesse à la descente ne diffère pas sensiblement de celle à la montée, et qu'il ne soit pas nécessaire de serrer les freins à la descente.

h_1, la hauteur totale, exprimée en kilomètres, des sections gravies par les rampes nuisibles;

l_1, la longueur totale, en kilomètres, des sections nuisibles;

α_0, la somme des angles au centre des courbes situées sur des rampes sans influence;

α_1, la somme des angles au centre des courbes situées sur des rampes nuisibles;

λ_0, la longueur totale des courbes situées sur des rampes sans influence;

λ_1, la longueur totale des courbes situées sur des rampes nuisibles.

L'expression de la dépense des trains par tonne kilométrique parcourue sur la ligne sera :

$$K = \left(f + es + \frac{B_0(W+s)}{(z-W-s)L}\right)(l_0 + l_1) + \frac{B_1 - B_0}{(z-W-s)L} \times$$
$$\times \left(Wl_0 + \frac{1}{2} Wl_1 + \frac{1}{2} h_1 + 0{,}00003\, \alpha_0 + 0{,}000015\, \alpha_1 - \right.$$
$$\left. - 0{,}002\lambda_0 - 0{,}001\lambda_1\right).$$

La longueur totale de la ligne l est égale à $l_0 + l_1$. Les valeurs des divers coefficients sont :

e = $0^f,025$,
B_0 = $0^f,625$,
W = { 0,003 pour les trains de marchandises, 0,0055 id. de voyageurs, 0,01 id. express,
Z = { $0,05 + 2s$ pour les trains de marchandises, $0,02 + 2s$ id. de voyageurs,
f = $0^f,34$ par tonne brute kilométrique de train de marchandises,
et f = $0^f,68$ par tonne brute kilométrique de train de voyageurs.

M. Launhardt exprime l'accroissement de résistance c dû au passage de courbes par la formule :

$$c = \frac{1,7}{r} - 0{,}002,$$

r étant le rayon de la courbe.

Il admet que cette résistance devient nulle dès que le rayon des courbes atteint 850 mètres.

La rampe fondamentale s d'une ligne est évaluée comme il suit :

$$s = s_1 + c,$$

s étant la rampe maxima de la ligne, et c la résistance due à la plus faible courbe située sur cette rampe maxima.

Les coefficients de la formule de M. Launhardt sont différents, suivant qu'on étudie les trains de voyageurs ou les trains de marchandises.

Nous remarquerons que la valeur K des dépenses de transport d'une tonne de train, telle qu'elle a été donnée par M. Launhardt, ne comprend pas toutes les dépenses d'exploitation. Elle ne contient que les dépenses de traction, du matériel et des serre-freins.

A l'aide de l'équation des dépenses de transport, M. Launhardt établit l'expression de la longueur virtuelle, qu'il appelle *longueur réduite de l'exploitation*.

Si l'on désigne par :

l_0, la longueur virtuelle ;

l, la longueur réelle de la ligne,

on a pour l_0 la valeur :

Pour le service des marchandises :

$$l_0 = l\left(1 + \frac{2,3533 + 5s}{0,047 + s}s + \frac{1,5 + 60s}{0,047 + s}(s_1 - W) + \frac{1,5 + 60s}{0,047 + s}c\right),$$

et pour le service des voyageurs :

$$l_0 = l\left(1 + \frac{0,636 + 1,856\,s}{0,0145 + s}s + \frac{0,2228 + 22,28\,s}{0,0145 + s}(s_1 - W) + \right.$$
$$\left. + \frac{0,2228 + 22,28\,s}{0,0145 + s}c\right).$$

Ces formules sont établies avec un grand soin ; les différences entre les résistances dues aux trains de voyageurs et celles dues aux trains de marchandises y sont observées. On peut, au point de vue théorique, critiquer l'introduction dans la formule des rampes sans influence, car nous croyons qu'il n'y a point de rampe qui n'exerce aucune influence sur les dépenses d'exploitation ou sur la longueur virtuelle. Si

nos moyens d'expérimentation ne sont pas assez perfectionnés, ni assez précis pour évaluer cette influence, elle n'en existe pas moins. Du reste, dès l'instant où l'on admet des rampes sans influence, il devient nécessaire de fixer une limite d'inclinaison de ces rampes. Nous avons vu, par ce qui précède, que quelques ingénieurs ont admis pour limite la rampe de 5 millimètres, d'autres, celle de 6 millimètres; en un mot, on marche un peu au hasard, une fois qu'on est engagé dans cette voie-là.

Remarquons aussi que les résistances dues aux rampes et aux courbes, dont M. Launhardt s'est servi dans l'expression de la dépense de transport K, sont les résistances dues aux rampes moyennes.

La formule des dépenses de transport de M. Launhardt est une des plus complètes et des plus soigneusement établies parmi les diverses formules en usage.

c) — *Comparaison des diverses méthodes de calcul des dépenses de transport.*

Nous avons indiqué, dans le tableau suivant, le résumé des diverses méthodes de calcul de la longueur virtuelle relative aux dépenses de transport. La critique qui a déjà été faite au § 4, alinéa *k*, à l'occasion des longueurs virtuelles relatives aux dépenses d'exploitation, s'applique également ici. Les longueurs virtuelles, au lieu d'être rapportées à une ligne en palier, le sont à des lignes d'inclinaisons variables, comme le montre le tableau de la page suivante.

Par suite des différences qui existent entre les points de départ des diverses méthodes que contient ce tableau, il n'est pas possible de comparer entre eux tous les résultats indiqués. La comparaison ne peut avoir lieu que pour les formules ayant la même rampe pour base.

RAMPE en millimètres.	MÉTHODE italienne.	MÉTHODE suisse.	KOALER.	DÉPARTEMENT fédéral.
millim.				
6,0	1,0	»	1,00	1,00
10,0	»	1,00	»	»
12,0	1,5	»	1,57	1,58
15,0	»	1,38	»	»
18,0	2,0	»	2,20	2,21
20,0	»	1,80	»	»
24,0	2,5	»	2,89	2,90
25,0	»	2,24	»	»
30,0	»	2,70	3,68	3,75
35,0	»	3,22	»	»
36,0	»	»	4,55	4,65
40,0	»	3,78	»	»
42.0	»	»	5,54	6,56
45.0	»	4,38	»	»
48,0	»	»	6,69	6.70
50,0	»	5,00	»	»

L'unité est tantôt la rampe de 6 millimètres, tantôt celle de 10 millimètres.

On remarquera cependant que les longueurs virtuelles relatives aux dépenses de transport sont supérieures à celles relatives aux dépenses d'exploitation, et inférieures aux longueurs virtuelles relatives au travail mécanique. Il doit en être ainsi; il suffit, en effet, pour le comprendre, de se reporter à l'analyse des éléments constitutifs de la dépense du transport proprement dit, de la dépense d'exploitation et du travail mécanique.

---

§ 6. — Résumé.

Le résumé succinct que nous venons de donner des principales méthodes appliquées jusqu'à ce jour pour calculer, soit les résistances à vaincre, soit les dépenses d'exploitation, soit les dépenses de transport, et pour déterminer les longueurs virtuelles correspondantes à chacun de ces éléments, montre que bien peu de ces méthodes peuvent donner des résultats comparables entre eux.

Les unes ont pour base le travail mécanique développé, les autres la dépense d'exploitation ou celle de transport.

Les unes ne tiennent pas compte des résistances dues aux courbes, d'autres admettent pour les courbes un rayon moyen sur toute la ligne. Quelques auteurs, au lieu de rapporter les résistances et les dépenses sur un chemin en rampe à celles d'une ligne horizontale, ont pris pour unité les résistances et les dépenses sur des lignes en rampe de $0^m,003$ ou de $0^m,006$, et même de $0^m,010$.

Chaque formule correspond à une hypothèse différente, à un point de vue nouveau : l'une s'appuie surtout sur des résultats d'expérience, sur des faits d'observation; l'autre est déduite presque en entier de la théorie mathématique.

Souvent aussi l'auteur d'une formule des résistances dues aux rampes et aux courbes d'une ligne, ou d'une formule des dépenses d'exploitation et de transport, se contente d'indiquer l'équation à laquelle il est arrivé; il fait une ou deux applications de sa formule, mais il omet de calculer des tables de coefficients pouvant servir à une application générale et rapide de sa méthode.

Dans l'établissement de quelques-unes des formules on ne s'est laissé guider que par les conditions purement locales d'une ligne déterminée de chemins de fer. Il est clair que, par cela même, une pareille formule ne pourrait recevoir une application générale, et servir au calcul des dépenses d'exploitation et de transport probables ou au calcul de la résistance d'un chemin situé dans un autre pays, et devant être exploité dans des conditions différentes.

Ce qui vient d'être dit des formules mentionnées plus haut démontre qu'on ne saurait comparer entre eux les résultats qu'elles fournissent qu'en usant de la plus grande réserve; sans cela on risquerait d'aller au-devant de mécomptes. Il convient de ne faire de comparaison qu'entre des facteurs et des résultats comparables, et cela n'a pas lieu dans le cas actuel, ainsi que l'indique l'étude spéciale de chaque formule.

CHAPITRE II.

MÉTHODE ABRÉGÉE DE CALCUL DES LONGUEURS VIRTUELLES RELATIVES AU TRAVAIL MÉCANIQUE.

---

§ 7. — Principes et hypothèses admis dans la méthode.

Dans les calculs qui vont suivre nous admettrons les bases suivantes :

a) — Le rapport de la résistance opposée à la marche d'un train par une rampe, à la résistance qu'aurait à vaincre ce même train marchant, à la même vitesse, sur un palier, représente la longueur virtuelle de la rampe.

b) — Parmi les diverses formules servant au calcul de la résistance que rencontre un train sur un alignement droit et horizontal, nous citerons celle de Pambour, celle de MM. Harding et Scott Russel, celle de MM. Gooch et Sewell et celle de Clark, ces trois dernières appliquées en Angleterre. Les Allemands ont les formules de M. Welkner, de Redtenbacher, de M. Ruehlmann, de la compagnie des chemins de fer de Cologne à Minden. En Autriche, il y a la formule indiquée par la compagnie des chemins de fer du Sud de l'Autriche et celle de la Société autrichienne.

Nous donnons, dans l'annexe A, le résumé de ces diverses formules de la résistance d'un train sur un alignement droit en palier.

Les formules établies le plus récemment en France, sont celles de MM. Vuillemin, Dieudonné et Guébhard, de la compagnie des chemins de fer de l'Est. De toutes ces formules, celles qui reposent sur le plus grand nombre d'expériences sont la formule de la compagnie des chemins de fer de Cologne à Minden, celle de MM. Harding et Russel et la formule de la compagnie de l'Est.

Nous adopterons cette dernière formule;

Si l'on désigne par

R la résistance du train, en kilogrammes,

P le poids du train, en tonnes, non compris la locomotive et le tender,

v la vitesse du train,

MM. Vuillemin, Dieudonné et Guébhard arrivent, dans le cas des trains de marchandises, et lorsque le graissage des wagons a lieu à la graisse, à l'expression suivante de la résistance sur un palier rectiligne :

$$R = (2,3 + 0,05\,v)\,P.$$

Si le graissage se fait à l'huile, la formule de la résistance devient :

$$R = (1,6 + 0,05\,v)\,P.$$

La vitesse v est comprise entre 12 et 32 kilomètres.

c) — Les résistances dues aux courbes seront transformées en résistances équivalentes sur des rampes ; c'est-à-dire que l'on calculera la rampe qui donnerait lieu à une résistance égale à celle de la courbe. Afin de déterminer ces rampes équivalentes aux courbes, nous nous appuierons sur les données expérimentales calculées par divers ingénieurs.

d) — La résistance d'un train se compose de celle des véhicules et de celle de la machine et de son tender. Dans l'étude actuelle, il est nécessaire de tenir compte de la résistance de la machine. Ce qu'on doit connaître en effet, lorsqu'on compare deux tracés de chemins de fer, c'est le travail mécanique total à développer sur chacun d'eux. Or si les rampes augmentent, le poids de la machine devient une fraction de plus en plus grande du poids total du train qu'elle remorque, le nombre de machines nécessaires pour traîner un poids de véhicules déterminé sera d'autant plus considérable, et par suite le travail total à développer d'autant plus important.

e) — Nous étudierons la longueur virtuelle d'une ligne

en ne considérant que le trafic des marchandises; ce trafic est, en général, le plus important sur les réseaux de chemins de fer.

La longueur virtuelle qu'il conviendrait de prendre dans le cas où l'on ne tiendrait compte que du trafic de voyageurs, se déterminerait de la même manière que dans l'hypothèse dans laquelle nous nous sommes placé. Il suffirait de donner à la résistance R en palier une autre valeur que celle indiquée plus haut. La formule de résistance en palier à appliquer dans le cas où l'on étudierait la longueur virtuelle relative au mouvement des voyageurs, serait d'après MM. Vuillemin, Dieudonné et Guébhard :

Pour les trains de voyageurs, si la vitesse est comprise entre 50 et 65 kilomètres,

$$R = (1,8 + 0,08\,v)P + 0,006\,Av^2.$$

A étant la surface frontale du train en mètres carrés.

Pour les trains express, dont la vitesse est comprise entre 70 et 80 kilomètres,

$$R = (1,8 + 0,14\,v)P + 0,004\,Av^2,$$

P étant le poids du train, v la vitesse, et R la résistance en palier.

---

§ 8. — Formule de la longueur virtuelle.

Le calcul de la résistance qu'éprouve un train sur une section en rampe et en courbe constitue un des problèmes les plus compliquées de la science appliquée. En théorie pure, il s'agirait de déterminer le travail à développer pour transporter des trains pesants, d'un point à un autre. Dans la pratique, un grand nombre d'éléments les plus divers viennent influer sur la valeur de ce travail. Le diamètre des fusées des essieux de véhicules, l'écartement de ces

essieux, le type de la locomotive, le graissage à l'huile ou à la graisse, le graissage des bandages des roues motrices, le jeu des essieux dans les boîtes à graisse, la nature des rails et des bandages, l'état de la voie, les conditions atmosphériques, la direction et la vitesse du vent, la vitesse et la nature du train, etc., sont autant de facteurs variables, influant sur la résistance à surmonter par la machine, et qui peuvent faire varier cette résistance du simple au double. Il serait difficile, croyons-nous, d'arriver à une formule pratique tenant compte de tous ces éléments. Aussi dans l'étude qui va suivre, on s'est placé dans des conditions nettement définies. On ne considère que les trains de marchandises; la machine qui remorquera les trains sera à trois essieux couplés, avec tender séparé, du type de la machine du Bourbonnais; cette machine, est en effet, en temps normal, la véritable machine des trains de marchandises. L'écartement des essieux des véhicules varie de $2^m,75$ à 3 mètres.

La méthode que nous allons développer s'appuiera surtout sur les meilleures données expérimentales établies jusqu'ici. Nous n'avons pas la prétention d'établir des formules théoriques à l'abri de la critique, ce que nous cherchons avant tout, c'est une méthode approximative, pratique et simple pour calculer les longueurs virtuelles.

Considérons une section en rampe et en courbe, et désignons par :

L la longueur réelle de cette section

αL l'accroissement de longueur virtuelle dû à la rampe.

βL l'augmentation de longueur virtuelle provenant de la résistance de la courbe,

L_v la longueur virtuelle totale de la section, on aura

$$L_v = L + \alpha L + \beta L,$$

ou

$$L_v = L(1 + \alpha + \beta) \quad (1)$$

Il faut déterminer les coefficients α et β.

a) — *Influence de la rampe.*

Soit I l'inclinaison d'une section en rampe et en alignement droit.

Désignons par R_I la résistance opposée par la rampe I au train, y compris la machine et le tender (*),

R_0 la résistance du train sur un palier rectiligne,

M le poids de la machine sans le tender;

P le poids du train de wagons.

Le poids du tender sera représenté très sensiblement par $\frac{5}{9}$ M, lorsque la machine à marchandises est à trois ou quatre essieux couplés. C'est l'hypothèse dans laquelle nous nous plaçons.

Nous supposerons l'inclinaison I de la rampe assez faible pour que l'on puisse admettre sans erreur appréciable :

$$\sin I = \text{tang}\, I = I.$$

(*) Il est indispensable de tenir compte dans la résistance à vaincre pour franchir la rampe, du poids de la machine et de son tender. On a déjà vu que si l'inclinaison des rampes augmente, le poids de la locomotive et de son tender devient une fraction de plus en plus grande du poids total du train, ou, en d'autres termes, le type de la machine restant le même, le poids du train remorqué diminue quand la rampe augmente. Ce n'est pas la résistance par tonne remorquée par la machine qu'il convient de calculer, mais la résistance par tonne du train entier, véhicules et moteur. Si l'on procédait autrement, on négligerait un des éléments importants de la résistance à vaincre, le poids de la machine et de son tender. Car lorsque deux variantes d'un tracé sont en présence et que le trafic probable est le même sur les deux variantes, il se peut que suivant les conditions du profil en long, il faille, sur l'une d'elles, un nombre de trains double de celui des trains de l'autre variante, quoique le tonnage transporté soit le même sur les deux tracés. Le nombre des trains sur l'une des variantes étant double de celui de l'autre variante, il faudra un parcours double des machines. Ce parcours des machines plus grand dans un cas que dans l'autre, donne lieu à une résistance supplémentaire à vaincre, dont il est nécessaire de tenir compte dans la comparaison des deux tracés. On admet, bien entendu, que sur les deux variantes, l'utilisation de la force de traction de la machine est la même.

Cette hypothèse est réalisée sur tous les chemins de fer exploités par des machines à simple adhérence. Nous excluons, par le fait, de cette étude, les chemins de fer à crémaillère et à roue dentée, ainsi que ceux à moteur fixe et à traction funiculaire. Ces deux dernières catégories de chemins de fer n'ont, en effet, jusqu'à présent, acquis que très peu d'importance en France.

L'augmentation de résistance due à la rampe I est $R_I - R_0$, et l'augmentation α de la longueur virtuelle par le fait de la rampe sera :

$$\alpha = \frac{R_I - R_0}{R_0}.$$

Pour obtenir α, il faut déterminer la valeur de l'expression $\frac{R_I - R_0}{R_0}$.

Nous calculerons d'abord la résistance du train de véhicules, puis celle du tender et enfin celle de la machine.

Résistance du train de véhicules. — Le calcul de cette résistance est basé sur la formule expérimentale établie par MM. Vuillemin, Guébhard et Dieudonné, de la compagnie de l'Est. Parmi les nombreuses formules théoriques et expérimentales en usage en Europe, c'est la formule de la compagnie de l'Est qui nous a paru calculée dans les meilleures conditions d'expérience, et avec le plus de soin, lorsqu'il s'agit des trains de marchandises à faible vitesse. Nous renvoyons le lecteur à l'annexe A, dans laquelle nous donnons le résumé des diverses méthodes de calcul de la résistance d'un train en palier, appliquées aujourd'hui par les administrations de chemins de fer.

Lorsque les trains de marchandises marchent à une vitesse comprise entre 12 et 32 kilomètres sur un palier qu'on peut supposer rectiligne, par un beau temps et à une température voisine de 15 degrés, la résistance par tonne de train est, d'après la formule de la compagnie de l'Est :

Pour les trains lubréfiés à l'huile :

$$1,65 + 0,05\,V,$$

Pour les trains lubréfiés à la graisse :

$$2,30 + 0,05\,V,$$

V étant la vitesse du train.

Le graissage des wagons étant fait en partie à la graisse, en partie à l'huile, nous adopterons, pour la résistance par tonne de train, une expression moyenne entre les deux relations précédentes, qui est :

$$2 + 0,05\,V.$$

Cette formule est, nous dit-on, en usage aujourd'hui à la compagnie de l'Est.

La résistance du train de véhicules sera, par suite, de :

$$P(2 + 0,05\,V),$$

sur un palier rectiligne, et de :

$$P(2 + 0,05\,V \pm I),$$

sur une rampe ou pente en alignement droit et d'une inclinaison I.

Résistance du tender. — A l'aide des expériences de MM. Vuillemin, Guébhard et Dieudonné, sur la résistance des tenders seuls, la compagnie de l'Est a déterminé l'expression de cette résistance par tonne de tender ; elle est :

$$2,6 + 0,09\,V,$$

sur un alignement droit en palier, et devient, sur une rampe I :

$$2,6 + 0,09\,V + I.$$

Le poids du tender en charge des machines de marchan-

dises à trois et à quatre essieux couplés est, à très peu de chose près, les $\frac{5}{9}$ du poids de la machine, de sorte que la résistance totale du tender sera, en palier :

$$\frac{5}{9}M(2,6+0,09V),$$

sur une rampe ou pente I :

$$\frac{5}{9}M(2,6+0,09V\pm I).$$

Résistance de la machine. — Le type de la machine de marchandises, que nous supposons employée dans les conditions habituelles de l'exploitation des chemins de fer, est la machine à trois essieux couplés avec tender séparé. Le poids de la machine est de 33 tonnes, celui du tender est d'environ 18 tonnes.

La machine à quatre essieux couplés n'est employée en général que sur les fortes rampes.

Nous considérerons exclusivement, dans la suite, le type ordinaire de la machine de marchandises, celle à trois essieux couplés.

La résistance des machines sans tender est composée de trois éléments (*) :

1° La résistance due au roulement de la machine comme véhicule ;

2° La résistance due au frottement du mécanisme;

(*) MM. Vuillemin, Guébhard et Dieudonné ont trouvé par tonne de machine de marchandises à trois essieux couplés, les résistances suivantes ;

	kilog.
Roulement	6,15
Frottement du mécanisme	6,05
Frottements additionnels dus à la pression de vapeur	3,02
	15,22

La résistance totale par tonne de machine de marchandises s'élève à 15k,22.

3° La résistance due aux frottements additionnels provenant de la pression de la vapeur.

De ces trois résistances, la seule qui nous intéresse et dont nous ayons à nous occuper est celle due au roulement de la machine comme véhicule. Cette résistance au roulement de la machine est surmontée par l'adhérence, et elle vient diminuer l'effort tangentiel exercé par les roues motrices sur les rails pour traîner le tender et les wagons.

Les résistances dues au frottement du mécanisme et à la pression de la vapeur sont des résistances intérieures de la machine qui n'exercent aucune influence sur l'adhérence et l'effort tangentiel.

Nous avons établi une formule de la résistance au roulement des machines, considérées comme véhicules, à l'aide de l'expression donnant la résistance au roulement du tender. Cette expression est, comme on l'a vu :

$$2,6 + 0,09\,V.$$

Les expériences de la compagnie de l'Est ont montré que le coefficient de frottement des fusées du tender dans les boîtes à graisse, est, à la vitesse de 25 à 30 kilomètres :

$$f = 0,043.$$

D'autre part, les mêmes expériences ont montré qu'à la même vitesse, le coefficient de frottement des fusées de la machine dans les boîtes à graisse, le mécanisme étant démonté, a pour valeur :

$$f = 0,052.$$

En multipliant la formule de la résistance au roulement du tender (par tonne) par le rapport $\frac{52}{43}$ des coefficients de frottement des fusées de la machine et du tender dans les boîtes à graisse, nous avons obtenu la résistance au roulement par tonne de machine, en palier :

$$3,16 + 0,11\,V.$$

Comme vérification de l'exactitude de cette formule, nous avons comparé les résultats qu'elle donne, pour une vitesse de 27 kilomètres, avec le chiffre établi par les expériences de MM. Vuillemin, Guébhard et Dieudonné. On a trouvé, à la compagnie de l'Est, qu'avec la machine à marchandises à trois essieux couplés, marchant à la vitesse de 24 à 27 kilomètres, la résistance au roulement par tonne de machine est de $6^{kg},15$.

La formule ci-dessus donne, pour la vitesse de 27 kilom., une résistance au roulement, par tonne de machine, égale à $6^{k},13$.

Si M désigne le poids de la machine, la résistance au roulement de la machine considérée comme véhicule sera, en palier

$$M(3,16 + 0,11\,V),$$

sur une rampe ou pente I,

$$M(3,16 + 0,11\,V \pm I).$$

Résistance du train entier, véhicules et machine. — La résistance du train entier se compose de la somme des résistances partielles déterminées précédemment.

On aura, en palier,

$$R_0 = P(2 + 0,05\,V) + \frac{5}{9}M(2,6 + 0,09\,V) + M(3,16 + 0,11\,V),$$

$$R_0 = P(2 + 0,05\,V) + M(4,6 + 0,16\,V). \qquad (1)$$

et sur une rampe en pente I,

$$R_I = P(2 + 0,05\,V \pm I) + \frac{5}{9}M(2,6 + 0,09\,V \pm I) +$$
$$+ M(3,16 + 0,11\,V \pm I),$$

$$R_I = P(2 + 0,05\,V \pm I) + M(4,6 + 0,16\,V \pm I). \qquad (2)$$

Les résistances R_0 et R_I renferment comme quantités variables la vitesse V, la rampe I, le poids du train P et le poids du moteur M.

On peut éliminer le poids M de la machine, en cherchant la relation qui lie ce poids au poids du train remorqué.

Relation entre le poids moteur et le poids du train remorqué. — On vient de voir que la résistance du train entier, véhicules et moteur, sur une rampe ou pente I a pour expression

$$R_I = P(2 + 0{,}05V \pm I) + M(4{,}16 + 0{,}16V \pm I).$$

L'effort tangentiel exercé par les roues motrices, doit être supérieur ou au moins égal à cette résistance du train entier. Or, l'expérience a montré que l'adhérence maxima de la machine était de $\frac{1}{5}$, et l'adhérence minima de $\frac{1}{10}$.

On a pris l'adhérence moyenne de $\frac{1}{7}$.

On arrive ainsi à la relation

$$\frac{1000\,M}{7} \geqq P(2 + 0{,}05V \pm I) + M(4{,}6 + 0{,}16V \pm I),$$

d'où l'on déduit

$$\frac{M}{P} = \frac{2 + 0{,}05V \pm I}{138{,}26 - 0{,}16V \mp 1{,}55\,I}. \qquad (3)$$

Dans cette équation M représente le poids adhérent de la machine, sans le tender.

Calcul de α. — Si dans les équations (1) et (2) donnant la résistance du train entier, on remplace le poids moteur M par sa valeur en fonction de P tirée de l'équation (3),

$$R_0 = P(2 + 0{,}05V) + M(4{,}6 + 0{,}16v). \qquad (1)$$

$$R_I = P(2 + 0{,}05V \pm I) + M(4{,}6 + 0{,}16V \pm I). \qquad (2)$$

$$M_0 = P\,\frac{2 + 0{,}05V}{138{,}26 - 0{,}16V}.$$

$$M_I = P\,\frac{2 + 0{,}05V \pm I}{138{,}26 - 0{,}16V \mp 1{,}55\,I}. \qquad (3)$$

on obtient pour les résistances R_0 et R_1 les expressions

$$R_0 = 142,86 P \frac{2 + 0,05 V}{138,26 - 0,16 V}. \qquad (4)$$

$$R_1 = 142,86 P \frac{2 + 0,05 V \pm I}{138,26 - 0,16 V \mp 1,55 I}. \qquad (5)$$

Mais on a

$$\alpha = \frac{R_1 - R_0}{R_0},$$

en substituant dans cette dernière relation à R_0 ou à R_1, les valeurs tirées des équations (4) et (5), et en faisant les réductions, on arrive à la relation

$$\alpha = \frac{\pm 141,36 I \mp 0,0825 I . V}{276,52 + 6,59 V \mp 3,1 I \mp 0,0775 I . V - 0,008 V^2}. \qquad (6)$$

α est donné par l'équation (6), en fonction de la rampe ou pente I et de la vitesse V. Il reste à chercher l'équation qui lie entre elles les quantités I et V.

Relation entre la vitesse et la rampe. — En admettant que l'effort de traction exercé par la machine d'un train soit constant, si l'inclinaison de la rampe que doit franchir le train augmente, la vitesse du train devra diminuer. Le travail de la machine restant le même, il y a nécessairement une relation qui existe entre la vitesse du train et la rampe à franchir. Presque chaque administration de chemins de fer calcule, d'après des procédés ou des formules empiriques, pour un poids déterminé du train, quelle doit être la vitesse sur une rampe d'une inclinaison connue; ou plutôt, elle détermine les charges brutes que peut remorquer une machine sur différentes rampes et à des vitesses variables. Elle arrive ainsi à établir les *tableaux des charges des trains.*

Nous n'essayerons pas de chercher une formule théorique exprimant la vitesse en fonction de la rampe, nous nous con-

tenterons à l'aide de quelques données expérimentales d'établir une relation approximative entre ces deux quantités.

En France, la vitesse moyenne de marche des trains de marchandises en palier, ne dépasse pas, en général, 25 kilomètres à l'heure.

Sur les rampes de 25 millimètres, la vitesse descend à 15 kilomètres à l'heure, et elle n'est plus que d'environ 12 kilomètres à l'heure sur les rampes de 30 millimètres.

Ces résultats de l'expérience conduisent à la formule

$$V = 25 - 0{,}568\,I + 0{,}0045\,I^2 \text{ (*)}. \qquad (7)$$

L'équation (7) donne la relation expérimentale approximative qui permet de calculer la vitesse d'un train de marchandises en fonction de la rampe.

Expression de α en fonction de I.— En remplaçant dans l'équation (6), V par sa valeur tirée de l'équation (7), et en donnant aux termes en I le signe correspondant à la rampe, on a

$$\alpha = \frac{139{,}3\,I + 0{,}0468\,I^2 - 0{,}00037\,I^3}{436{,}5 - 8{,}55\,I + 0{,}0693\,I^2 - 0{,}00031\,I^3}. \qquad (8)$$

On a négligé au dénominateur le terme en I^4, dont le coefficient 0,000 000 162 est tellement faible que le terme entier est négligeable. Si I est inférieur à 10 millimètres, on peut également ne pas tenir compte des termes en I^3.

b) — *Influence due aux courbes.*

Le calcul théorique de la résistance opposée par une

(*) En cherchant la valeur de I qui donne le minimum de V, on trouve que ce minimum correspond à une inclinaison de $I = 63$ millimètres. La vitesse V descend dans ce cas à 7 kilomètres. — En égalant à 0 le second terme de l'équation (7), on arrive à des racines imaginaires. La courbe du second degré représentée par l'équation (7), a une tangente horizontale au point $V = 7$ et $I = 63$.

courbe au mouvement d'un véhicule ou d'un train a été entrepris par beaucoup d'ingénieurs. Nous renvoyons à l'annexe B, dans laquelle nous avons résumé les diverses méthodes théoriques et expérimentales employées dans le calcul de la résistance des courbes.

Les formules théoriques de la résistance dans les courbes, outre qu'elles sont par leur nature même très compliquées, ne peuvent nous être d'aucune utilité dans la présente étude.

Parmi les formules expérimentales, celle de M. Haswell établie à l'aide d'expériences faites sur le matériel américain ne saurait être appliquée au matériel français. Les expériences faites par MM. Polonceau, Forquenot, Vuillemin, Guébhard et Dieudonné, Roeckl, de Weber, Boedecker, n'ont pas été traduites en formule empirique. Il ne reste alors que la formule des ingénieurs anglais et la formule allemande.

Dans la formule anglaise, la résistance sur une courbe est transformée en une résistance équivalente sur une rampe. Si r est le rayon d'une courbe en mètres, la résistance due à cette courbe est égale à celle qu'oppose une rampe $\frac{0,914}{r}$; appelons R cette résistance, on aura

$$Rr = 0,914. \tag{9}$$

La formule des ingénieurs allemands ne diffère de la formule anglaise que par le coefficient constant; l'expression de la rampe équivalente est $\frac{0,76}{r}$; r étant le rayon de la courbe en mètres. Si R est la résistance par tonne, on a

$$Rr = 0,76. \tag{10}$$

Les équations (9) et (10) sont les deux seules formules expérimentales que nous ayons trouvées pour calculer la résistance due aux courbes.

Ces deux formules laissent beaucoup à désirer. Elles ne tiennent compte que du rayon de la courbe et du poids du train, et ne contiennent pas de facteur relatif à la vitesse du train, ni à sa longueur. La vitesse des trains de marchandises étant faible, on peut, à la rigueur, supposer que le terme correspondant à la vitesse soit insignifiant.

Mais il n'en est pas de même de la longueur du train. Cette longueur est, en général, considérable, et lorsque le rayon des courbes diminue, l'effort de traction auquel est soumis un wagon du train, ne s'exerce plus dans l'axe du wagon, mais sous un angle variable avec la place occupée par le wagon dans le train, et avec le rayon de la courbe, d'où une augmentation sensible de la résistance dans la courbe (*).

Quoi qu'il en soit, les deux formules en question étant les seules connues, et donnant approximativement la résistance due aux courbes, nous les employerons pour arriver à l'équation générale de la longueur virtuelle d'une ligne en rampe et en courbe.

Dans le calcul numérique du coefficient β des tableaux qui suivront, nous nous servirons également de ces deux formules, mais en outre nous tiendrons compte des résultats déduits des expériences faites par MM. Polonceau, Forquenot, Vuillemin, Guébhard et Dieudonné, et Boedecker.

(*) La valeur de la résistance due aux courbes pour les trains de petite vitesse n'a pas l'importance que lui prêtent quelques ingénieurs ; la résistance due aux rampes d'une ligne est toujours de beaucoup supérieure à celle des courbes.

A mesure que les rampes d'une ligne deviennent plus fortes, et les courbes plus raides, le poids des trains et leur longueur diminuent, le type de la machine restant le même. On conçoit par suite qu'il existe une relation entre la rampe d'une ligne, les rayons de ses courbes et les résistances dues à ces courbes.

M. Ch. Gerhardt a cherché cette relation, et il est arrivé aux résultats consignés dans le tableau suivant. Sur onze profils-types déterminés, dont la rampe fondamentale varie de 3 millimètres à

Calcul de β. — Si dans les équations (9) et (10), nous adoptons pour unité de rampe, le millimètre, elles deviendront :

$$Rr = 914. \qquad (9)$$

$$Rr = 760. \qquad (10)$$

Prenons la moyenne entre les deux termes constants du second membre, et nous aurons une expression d'une approximation plus grande de la résistance des courbes en France. La formule anglaise, en effet, déduite d'expériences faites en Angleterre, correspond à des vitesses moyennes de trains de marchandises de 29 à 30 kilomètres à l'heure. Ces vitesses sont supérieures aux vitesses des trains de petite vitesse en France. La formule anglaise donnerait donc

---

26 millimètres, il a cherché les rayons des courbes donnant lieu à la même résistance pour des trains marchant à la même vitesse.

RAMPES en millimètres.	RAYONS DES COURBES donnant lieu à la même résistance sur les rampes indiquées.									
3,0	2000	1800	1500	1000	900	800	790	600	500	400	300
4,0	1730	1560	1300	870	780	690	610	520	430	350	260
5,5	1480	1390	1110	740	670	590	520	440	370	300	220
7,0	1310	1180	980	650	590	520	460	390	330	260	»
9,0	1150	1040	860	580	520	460	400	350	290	230	»
11,0	1040	960	780	520	470	420	360	310	260	»	»
13,0	960	860	720	480	430	380	340	290	240	»	»
16,0	870	790	650	430	390	350	300	260	»	»	»
19,0	800	720	600	400	360	320	280	240	»	»	»
22,0	740	660	550	370	330	290	260	»	»	»	»
26,0	680	600	510	340	300	270	240	»	»	»	»

Ainsi des trains de longueur variable, suivant la rampe, remorqués par la même machine travaillant à plein collier sur les diverses rampes indiquées, donneraient lieu sur les courbes dont les rayons sont inscrits dans chaque colonne verticale du tableau, à des résistances qui seraient les mêmes, la vitesse étant supposée constante. Dans la formule qui a servi de base aux calculs, on a supposé que la résistance des trains dans les courbes était proportionnelle à la longueur de ces trains. Cette hypothèse donne des résistances trop fortes, ainsi que le montrent les expériences faites sur le Semmering (voir page 571).

sur nos lignes des résultats un peu trop forts. On appliquera la formule

$$Rr = 837. \qquad (11)$$

La résistance sur une courbe de rayon r sera donc équivalente à celle qu'oppose une rampe d'une inclinaison $\frac{837}{r}$, et sera égale à $\frac{837}{r}$ kilog. Pour obtenir β, il faut calculer l'allongement de longueur virtuelle dû à une rampe $\frac{837}{r}$.

Or nous avons vu que l'équation (8) qui donne l'expression de α,

$$\alpha = \frac{139{,}3\,I + 0{,}0468\,I^2 - 0{,}00037\,I^3}{436{,}5 - 8{,}55\,I + 0{,}0693\,I^2 - 0{,}00031\,I^3} \; (*), \qquad (8)$$

indique précisément l'allongement de longueur virtuelle dû à une rampe d'une inclinaison I.

Il suffit donc de remplacer dans l'équation (8), I par $\frac{837}{r}$, pour obtenir la valeur de β.

On remarquera que la rampe $\frac{837}{r}$, pour un rayon très faible, de 100 mètres par exemple, a la valeur de $8^{mm},37$ et que cette rampe n'atteindra dans aucun cas 10 millimètres en voie courante, et sur la voie de $1^m,44$ de largeur. Il en résulte que les termes en I^3 de l'équation (8), sont

(*) La valeur de I pour laquelle α devient infini est obtenue en égalant le dénominateur à 0. En résolvant graphiquement l'équation du troisième degré

$$436{,}5 - 8{,}55\,I + 0{,}0693\,I^2 - 0{,}00031\,I^3 = 0,$$

on trouve que la racine positive de cette équation est $I = 90$. Cela veut dire que des rampes supérieures à 90 millimètres ne peuvent plus être franchie par des machines à simple adhérence.

négligeables dans la valeur de β, et l'on aura,

$$\beta = \frac{139{,}3\,\frac{837}{r} + 0{,}0468\left(\frac{837}{r}\right)^2}{436{,}5 - 8{,}55\,\frac{837}{r} + 0{,}0693\left(\frac{837}{r}\right)^2},$$

ou en simplifiant,

$$\beta = \frac{32.787 + 116.594\,r}{48.549 - 7156\,r + 436{,}5\,r^2}, \qquad (12)$$

r représente le rayon de la courbe en mètres.

c) — Équation de la longueur virtuelle totale.

On a vu que l'équation de la longueur virtuelle totale d'une section de ligne en rampe I et en courbe de rayon r, était

$$L_v = L(1 + \alpha + \beta),$$

α étant l'accroissement de longueur virtuelle dû à la rampe I, et β l'accroissement de longueur virtuelle dû à la résistance de la courbe de rayon r.

Remplaçons α et β par leurs valeurs tirées des équations (8) et (12), et on aura l'expression de la longueur virtuelle totale de la section :

$$L_v = L\left(1 + \frac{139{,}3\,I + 0{,}0468\,I^2 - 0{,}00037\,I^3}{436{,}5 - 8{,}55\,I + 0{,}0693\,I^2 - 0{,}00031\,I^3} + \frac{32.787 + 116.594\,r}{48.549 - 7156\,r + 436{,}5\,r^2}\right) \qquad (13)$$

L est la longueur réelle de la section en rampe I, et en courbe de rayon r; I est exprimé en millimètres et r représente des mètres.

A l'aide de l'équation (13), on pourra calculer la longueur virtuelle relative à la résistance opposée par une section de ligne quelconque en rampe I, et en courbe de rayon r.

§ 9. — Valeurs de α depuis la rampe 0 jusqu'à la rampe de 30 millimètres.

Afin de faciliter la recherche de la longueur virtuelle, relative au travail mécanique à développer, nous avons calculé les valeurs de α pour des rampes de o à 30 millimètres, en faisant varier la rampe de dixièmes de millimètre en dixièmes de millimètre.

$$\alpha = \frac{139,3\,I + 0,0468\,I^2 - 0,00037\,I^3}{436,5 - 8,55\,I + 0,0693\,I^2 - 0,00031\,I^3}.$$

Le calcul du coefficient α n'a lieu que pour des valeurs positives de I; pour les valeurs négatives de I, on a admis, comme on le verra plus loin (§ 11), que le coefficient α était sensiblement égal à o. On a évité de rechercher les valeurs de α sur les pentes.

On a négligé aussi de tenir compte de l'élan que peut prendre un train marchant sur un palier ou sur une pente, afin d'attaquer une rampe avec une vitesse supérieure à la vitesse normale de marche. La résistance à vaincre, et le travail mécanique à développer sont à peu près les mêmes, soit qu'on franchisse la rampe par élan, soit que la machine travaille à plein collier et sans élan. Lorsqu'une machine attelée à un train circule sur un palier qui précéde une rampe, et que le mécanicien veut franchir, par élan, une partie de cette rampe ou même la rampe entière, il fait prendre à son train une vitesse supérieure à la vitesse normale que doit avoir le train sur le palier. L'accroisement de force vive qui en résulte pour le train permet au mécanicien d'attaquer la rampe et éventuellement de la franchir plus facilement que s'il l'avait abordée avec une vitesse égale à la vitesse de la marche normale du train en palier, et sans prendre un élan sur ce palier. Mais dans les deux cas, le travail effectué par la machine est sensiblement le même, et il n'y a pas lieu de se préoccuper, dans le calcul des résisances à vaincre, de l'élan d'un train à la montée d'une rampe.

Tableau des valeurs de α.

RAMPE en milli-mètres.	VALEURS de α.	RAMPE en milli-mètres.	VALEURS de α.	RAMPE en milli-mètres.	VALEURS de α.	RAMPE en milli-mètres.	VALEURS de α.	RAMPE en milli-mètres.	VALEURS de α.
0,1	0,032	6,1	2,200	12,1	4,937	18,1	8,326	24,1	[illegible]
0,2	0,064	6,2	2,241	12,2	4,988	18,2	8,389	24,2	[illegible]
0,3	0,096	6,3	2,282	12,3	5,039	18,3	8,453	24,3	[illegible]
0,4	0,129	6,4	2,323	12,4	5,091	18,4	8,518	24,4	[illegible]
0,5	0,162	6,5	2,364	12,5	5,143	18,5	8,584	24,5	[illegible]
0,6	0,195	6,6	2,405	12,6	5,195	18,6	8,650	24,6	[illegible]
0,7	0,228	6,7	2,446	12,7	5,247	18,7	8,716	24,7	[illegible]
0,8	0,261	6,8	2,488	12,8	5,299	18,8	8,783	24,8	[illegible]
0,9	0,294	6,9	2,530	12,9	5,351	18,9	8,850	24,9	[illegible]
1,0	0,327	7,0	2,572	13,0	5,404	19,0	8,917	25,0	[illegible]
1,1	0,360	7,1	2,614	13,1	5,457	19,1	8 985	25,1	[illegible]
1,2	0,393	7,2	2,656	13,2	5,511	19,2	9,054	25,2	[illegible]
1,3	0,426	7,3	2,698	13,3	5,565	19,3	9,124	25,3	[illegible]
1,4	0,460	7,4	2,741	13,4	5,619	19,4	9,195	25,4	[illegible]
1,5	0,494	7,5	2,784	13,5	5,673	19,5	9 267	25,5	[illegible]
1,6	0,528	7,6	2,827	13,6	5,727	19,6	9,340	25,6	[illegible]
1,7	0,562	7,7	2,870	13,7	5,782	19,7	9,413	25,7	[illegible]
1,8	0,596	7,8	2 913	13,8	5,837	19,8	9,486	25,8	[illegible]
1,9	0,630	7 9	2,956	13,9	5,892	19,9	9,550	25,9	[illegible]
2,0	0,664	8,0	3,000	14,0	5,947	20,0	9,634	26,0	[illegible]
2,1	0,699	8,1	3,044	14,1	6,002	20,1	9,698	26,1	[illegible]
2,2	0,734	8,2	3,088	14,2	6,057	20,2	9;772	26,2	[illegible]
2,3	0,769	8,3	3,132	14,3	6,112	29,3	9,846	26 3	[illegible]
2,4	0,804	8,4	3,176	14,4	6,167	20,4	9,920	26,4	[illegible]
2,5	0,839	8,5	3,220	14,5	6,223	20,5	9,994	26,5	[illegible]
2,6	0,874	8,6	3,265	14,6	6,279	20,6	10,068	26,6	[illegible]
2,7	0,909	8,7	3,310	14,7	6,335	20,7	10,142	26,7	[illegible]
2,8	0,945	8,8	3,355	14,8	6,391	20,8	10,216	26,8	[illegible]
2,9	0,981	8,9	3,400	14,9	6,447	20,9	10,290	26,9	[illegible]
3,0	1,017	9,0	3,445	15,0	6,503	21,0	10,364	27,0	[illegible]
3,1	1,053	9,1	3,490	15,1	6,560	21,1	10,438	27,1	[illegible]
3,2	1,089	9,2	3,536	15,2	6,617	21,2	10,512	27,2	[illegible]
3,3	1,125	9,3	3,582	15,3	6,674	21,3	10,586	27,3	[illegible]
3,4	1,161	9,4	3,628	15,4	6,731	21,4	10,660	27,4	[illegible]
3,5	1,198	9,5	3,674	15,5	6,788	21,5	10,734	27,5	[illegible]
3,6	1,235	9,6	3,720	15,6	6,846	21,6	10,808	27,6	[illegible]
3,7	1,272	9,7	3,766	15,7	6,904	21,7	10,882	27,7	[illegible]
3,8	1,309	9,8	3,813	15,8	6,962	21,8	10,956	27,8	[illegible]
3,9	1,346	9,9	3,860	15,9	7,020	21,9	11,030	27,9	[illegible]
4,0	1,383	10,0	3,907	16,0	7,078	22,0	11,104	28,0	[illegible]
4,1	1,420	10,1	3,954	16,1	7,136	22 1	11,178	28,1	[illegible]
4,2	1,458	10,2	4,001	16,2	7,194	22,2	11,253	28,2	[illegible]
4,3	1,496	10,3	4,048	16,3	7,252	22,3	11,327	28,3	[illegible]
4,4	1,534	10,4	4,096	16,4	7,310	22,4	11,402	28,4	[illegible]
4,5	1,572	10,5	4,144	16,5	7,368	22,5	11,476	28,5	[illegible]
4,6	1,610	10,6	4,192	16,6	7,426	22,6	11,551	28,6	[illegible]
4,7	1,648	10,7	4,240	16,7	7,485	22,7	11,625	28,7	[illegible]
4,8	1 686	10,8	4,289	16,8	7,544	22,8	11,700	28,8	[illegible]
4,9	1,725	10,9	4,338	16,9	7,603	22,9	11,775	28,9	[illegible]
5,0	1,764	11,0	4,387	17,0	7,662	23,0	11,850	29,0	[illegible]
5,1	1,803	11,1	4,436	17,1	7,721	23,1	11,925	29,1	[illegible]
5,2	1,842	11,2	4,485	17,2	7,780	23,2	12,000	29,2	[illegible]
5,3	1,881	11,3	4,535	17,3	7,839	23,3	12,075	29,3	[illegible]
5,4	1,920	11,4	4,585	17,4	7,898	23,4	12,150	29,4	[illegible]
5,5	1,960	11,5	4,635	17,5	7,957	23,5	12,225	29,5	[illegible]
5,6	2,000	11,6	4,685	17,6	8,017	23,6	12,300	29,6	[illegible]
5,7	2,040	11,7	4,735	17,7	6,078	23,7	12,375	29,7	[illegible]
5,8	2,080	11,8	4,785	17,8	8,139	23,8	12,450	29,8	[illegible]
5,9	2,120	11,9	4,835	17,9	8,201	23,9	12,525	29,9	[illegible]
6,0	2,160	12,0	4,886	18,0	8,263	24,0	12,601	30,0	[illegible]

Nous avons arrêté ce tableau à la rampe de 30 millimètres, qui est à peu près la rampe maxima qui existe aujourd'hui sur les chemins de fer français à voie de $1^{m},44$ de largeur. Dans le cas où il s'agirait de calculer la longueur virtuelle relative à la résistance de lignes ayant des rampes supérieures à 30 millimètres, il suffirait de se reporter à l'expression de α donnée par la formule (8).

---

§ 10. — Valeurs de β correspondant à des rayons de 100 à 7.000 mètres.

On a vu que la détermination de l'expression de β, qui entre dans la valeur de la longueur virtuelle totale de l'équation (13), a eu lieu en s'appuyant sur les formules allemande et anglaise. Afin de calculer les diverses valeurs de β correspondant à des rayons variables, nous avons commencé par établir un tableau comparatif des résultats de toutes les expériences importantes faites jusqu'aujourd'hui sur la résistance des courbes, par les ingénieurs ayant étudié la question dans les divers pays. Dans ce but, nous avons commencé par construire les deux hyperboles

$$Rr = 914,$$

et

$$Rr = 760.$$

qui, pour une valeur du rayon r, donnent la résistance correspondante sur la courbe. Ces deux hyperboles sont asymptotes aux deux axes de coordonnées et représentent graphiquement la formule anglaise et la formule allemande. Les rayons r sont portés sur l'axe des x, et les résistances R sur l'axe des y.

Nous avons construit de même la courbe graphique qui correspond aux résistances ou aux rampes équivalentes indiquées par M. Boedecker (voir l'annexe B, sur les formules de la résistance dans les courbes). On a construit égale-

ment une courbe de la forme $xy = K$ passant par les points correspondant aux expériences de M. Forquenot, mentionnées dans l'annexe B.

La ligne représentative des résistances dans les courbes doit, en effet, avoir la forme d'une hyperbole, et être asymptote aux deux axes de coordonnées, puisque, pour un rayon infini, la résistance due à la courbe est nulle, et que, pour un rayon nul, la résistance doit être infinie. L'équation d'une hyperbole de la forme

$$xy = c.$$

représente donc bien l'allure générale de la courbe des résistances dues aux courbes de la voie.

De même, nous avons représenté graphiquement les résultats d'expériences sur la résistance des courbes de MM. Vuillemin, Guébhard et Dieudonné, ainsi que ceux trouvés par C. Polonceau.

On a consigné dans le tableau qui suit toutes les ordonnées de ces diverses courbes correspondant à un rayon déterminé; puis on a pris l'ordonnée moyenne relative à chaque valeur du rayon, et c'est cette ordonnée moyenne, ou plutôt cette courbe moyenne entre toutes celles que nous avons tracées, qui a servi au calcul des valeurs de β mentionnées dans un second tableau. Le rayon minimum adopté est de 100 mètres; de 100 à 1000 mètres, les rayons du tableau suivant varient, de 50 en 50 mètres. Au delà de 1000 mètres, les rayons sont différents de 100 mètres. Enfin, au delà de 2000 mètres, deux rayons consécutifs diffèrent de 500 mètres. Le rayon maximum est de 5000 mètres.

Les chiffres figurant dans ce tableau représentent indifféremment, soit des millimètres de rampe, soit des kilogrammes de résistance.

RAYON.	POLON-CEAU.	VUILLE-MIN.	FORQUE-NOT.	FORMULE anglaise.	FORMULE alle-mande.	BOEDEC-KER.	TOTAL.	RAMPE moyenne
mètres.								
100	5,25	3,25	»	9,14	7,60	»	25.24	6,31
150	4.87	3,15	»	6,10	5,06	»	19,16	4,79
200	4,53	3,00	»	4,57	3,80	»	15,90	3,97
250	4,20	2.87	»	3.65	3,04	»	13,76	3,44
300	3,90	2,75	3.90.	3,04	2,50	2,60	18.09	3,01
350	3,57	2,63	2,87	2,61	2,17	2,19	16,04	2.67
400	3.30	2.50	2,17	2,28	1,90	1.90	14.05	2,34
450	3,00	2.37	1,73	2,03	1,69	1,67	12.49	2.08
500	2,75	2.25	1,40	1,85	1,51	1,33	11,09	1,85
550	2,50	2.23	1,21	1,66	1,38	1,20	10.18	1,69
600	2.27	2,00	1,03	1,52	1,26	1,12	9,20	1,53
650	2,03	1,87	0,86	1.40	1,17	0,89	8,22	1,37
700	1,83	1,75	0,73	1,31	1,08	0,83	7,53	1.26
750	1,62	1,63	0.62	1,22	1,00	0,77	6,86	1.14
800	1,42	1.50	0,53	1,14	0.95	0,72	6,26	1.04
850	1.25	1.37	0,47	1,07	0,89	0,68	5,73	0.955
900	1,07	1.25	0.42	1,01	0,84	0,64	5.23	0.87
950	0,92	1,12	0,36	0,96	0,80	0,51	4,67	0,778.
1000	0,75	1,00	0,32	0,914	0,76	0.38	4,124	0.687
1100	0.47	0.75	0,25	0,83	0,69	0,37	3,36	0,56
1200	0,25	0.50	0,18	0,76	0,63	0,37	2.69	0.45
1300	0,06	0,25	0,13	0,70	0,58	0,36	2,08	0.35
1400	»	»	0,09	0,65	0.54	0,35	1,63	0,27
1500	»	»	0.05	0.61	0,506	0,31	1,476	0,246
1600	»	»	0,03	0,57	0,47	0,28	1,35	0 225
1700	»	»	0,02	0.53	0,416	0,27	1,266	0,211
1800	»	»	0,01	0,50	0,42	0.27	1.20	0.20
1900	»	»	»	0,48	0,40	0,26	1,14	0,19
2000	»	»	»	0,457	0,38	0,26	1,097	0 183
2500	»	»	»	0,365	0,304	0,19	0,859	0,143
3000	»	»	»	0.304	0.253	0,145	0,702	0,117
3500	»	»	»	0.261	0,217	0,113	0,591	0,098
4000	»	»	»	0,228	0,19	0,081	0.499	0,083
4500	»	»	»	0,203	0,17	0,063	0,436	0,072
5000	»	»	»	0,185	0,151	0,045	0,381	0,063

Il y a, comme on le voit, des écarts assez considérables entre les résultats obtenus par les divers expérimentateurs. Ces écarts n'ont rien de surprenant; car l'influence des conditions atmosphériques, celle de la direction et de l'intensité du vent, de la nature des rails, du diamètre des fusées et d'un grand nombre d'autres facteurs, variables d'une expérience à l'autre, est telle, que les écarts en question sont très admissibles.

Il en résulte que, pour obtenir la résistance moyenne due à une courbe, il est nécessaire d'avoir un grand nombre de résultats d'expériences correspondants aux diverses conditions variables dans lesquelles ces résultats sont obtenus.

Les résultats moyens contenus dans la dernière colonne du tableau sont, pour les courbes de 250 à 800 mètres de rayon, à peu près égaux à ceux qui découlent de la formule anglaise et de la formule allemande, ou sont compris entre les résultats indiqués par ces deux formules; ils sont, au contraire, inférieurs aux résultats de ces deux dernières formules pour toutes les courbes de rayon inférieur à 250 mètres ou supérieur à 800 mètres.

On obtiendra les valeurs de β correspondant à des rayons variables en prenant la rampe moyenne indiquée pour chaque rayon dans la dernière colonne du précédent tableau et en cherchant dans le tableau des valeurs de α (voir page 518) quelle est la valeur de α qui répond à cette rampe moyenne.

Nous donnons à la page suivante le tableau des valeurs de β, depuis le rayon de 100 mètres jusqu'au rayon de 7000 mètres; au delà de 7000 mètres β est nul. Le tableau suivant indique, pour les rayons de 200 à 1000 mètres, les résultats comparatifs déduits de la formule (12) que nous avons trouvée plus haut pour l'expression de β, et ceux indiqués dans le tableau de la page suivante.

RAYON.	VALEUR DE β tirée de la formule (12).	VALEUR DE β déduite des résultats de l'expérience.
mètres.		
200	1,462	1,370
300	0,941	1,017
400	0,700	0,783
500	0,553	0,613
600	0,460	0,501
700	0,391	0,410
800	0,341	0,340
900	0,302	0,282
1000	0,271	0,224

Les chiffres de ce tableau diffèrent peu entre eux, et se rapportent aux courbes les plus usuelles.

Tableau des valeurs de β.

RAYON des courbes.	RAMPE equi-valente.	VALEURS de β.	RAYON des courbes.	RAMPE équi-valente.	VALEURS de β.	RAYON des courbes.	RAMPE équi-valente.	VALEURS de β.
mèt.	millim.		mèt.	millim.		mèt.	millim.	
100	6,31	2,284	710	1,23	0,402	1640	0,219	0,070
110	5,85	2,100	720	1,21	0,396	1660	0,216	0,069
120	5,55	1,980	730	1,18	0,389	1680	0,213	0,068
130	5,25	1,862	740	1,16	0,381	1700	0,211	0,067
140	5,00	1,764	750	1,14	0,374	1720	0,208	0,067
150	4,79	1,684	760	1,12	0,367	1740	0,206	0,066
160	4,59	1,606	770	1,10	0,360	1760	0,204	0 065
170	4,40	1,534	780	1,08	0,353	1780	0,202	0,064
180	4,24	1,472	790	1,06	0,346	1800	0,200	0,064
190	4,10	1,420	800	1,04	0,340	1820	0,198	0,063
200	3,97	1,370	810	1,02	0,334	1840	0,196	0,063
210	3,84	1,324	820	1,00	0,327	1860	0,194	0,062
220	3,72	1,279	830	0,985	0,321	1880	0,192	0,062
230	3,60	1,235	840	0,970	0,316	1900	0,190	0,061
240	3,52	1,205	850	0,955	0,310	1920	0,1885	0,060
250	3,44	1,176	860	0,930	0,304	1940	0,1870	0,060
260	3,34	1,140	870	0,915	0,299	1960	0,1860	0,059
270	3,25	1,106	880	0 900	0,294	1980	0,1845	0,058
280	3,17	1,078	890	0,885	0,288	2000	0,1830	0,058
290	3,08	1,049	900	0,870	0,282	2050	0,178	0,0574
300	3,01	1,017	910	0,850	0,277	2100	0,173	0,0558
310	2,92	0,988	920	0,835	0,270	2150	0,168	0,0542
320	2,85	0,960	930	0,810	0,264	2200	0,164	0,0526
330	2,78	0,938	940	0,795	0,258	2250	0,160	0,0510
340	2,72	0 916	950	0,780	0,252	2300	0,156	0,0500
350	2,66	0,894	960	0,760	0,247	2350	0,152	0,0490
360	2,60	0,874	970	0,745	0,241	2400	0,149	0,0480
370	2,52	0,851	980	0,730	0,236	2450	0,146	0,0470
380	2,46	0,827	990	0,710	0,231	2500	0,143	0,0460
390	2,40	0,804	1000	0,69	0,224	2550	0,140	0,0450
400	2,34	0,783	1020	0,66	0,214	2600	0,137	0,0439
410	2,28	0,762	1040	0,625	0,204	2650	0,134	0,0428
420	2,23	0,744	1060	0,60	0,195	2700	0,1315	0,0419
430	2,18	0,727	1080	0,58	0,186	2750	0,1290	0,0411
440	2,13	0,709	1100	0,56	0,178	2800	0,1265	0,0403
450	2,08	0,692	1120	0,535	0,171	2850	0,1240	0,0396
460	2,03	0,674	1140	0,51	0,165	2900	0,1215	0,0388
470	1,98	0,657	1160	0,49	0,158	2950	0,1190	0,0382
480	1,94	0,644	1180	0,47	0,151	3000	0,1170	0,0376
490	1,89	0,627	1200	0,45	0,144	3100	0,1125	0,0360
500	1,85	0,613	1220	0,43	0,138	3200	0,108	0,0334
510	1,81	0,599	1240	0,41	0,132	3300	0,104	0,0333
520	1,78	0,588	1260	0,39	0,125	3400	0,101	0,0326
530	1,75	0,577	1280	0,37	0,118	3500	0,098	0,0317
540	1,72	0,566	1300	0,35	0,112	3600	0,095	0,0309
550	1,69	0,555	1320	0,33	0,106	3700	0,092	0,0300
560	1,65	0,545	1340	0,315	0,101	3800	0,089	0,0291
570	1,62	0,535	1360	0,300	0,096	3900	0,086	0,0282
580	1,59	0,525	1380	0,285	0,092	4000	0,083	0,0272
590	1,56	0,514	1400	0,270	0,089	4100	0,080	0,0263
600	1,53	0,504	1420	0,268	0,086	4200	0,078	0,0255
610	1,49	0,493	1440	0,260	0,083	4300	0,076	0,0247
620	1,46	0,482	1460	0,255	0,082	4400	0,074	0,0240
630	1,43	0,471	1480	0,350	0,080	4500	0,072	0,0234
640	1,40	0,460	1500	0,245	0,079	4600	0,070	0,0228
650	1,37	0,451	1520	0,240	0,077	4700	0,068	0,0222
660	1,34	0,443	1540	0,236	0,076	4800	0,066	0,0217
670	1,32	0,434	1560	0,232	0,075	4900	0,0645	0,0208
680	1,30	0,426	1580	0,228	0,073	5000	0,063	0,0200
690	1,28	0,418	1600	0,225	0,072	6000	0,036	0,0117
700	1,26	0,410	1620	0,222	0,071	7000	0,012	0,0038

CHAPITRE III.

APPLICATION DE LA MÉTHODE A DIVERSES LIGNES DE CHEMINS DE FER.

---

§ 14. — Règles à suivre dans l'application de la méthode.

On supposera que le trafic sur une ligne AB dont on veut évaluer la longueur virtuelle est le même dans les deux sens. Cela revient à dire qu'il faut tenir un compte égal des difficultés de la ligne qu'on circule dans le sens de A vers B, ou dans celui de B vers A. Si l'égalité du trafic dans les deux sens n'existait pas, il faudrait, pour obtenir la longueur virtuelle moyenne d'une ligne, affecter la longueur virtuelle dans les deux sens d'un coefficient proportionnel au trafic.

On a fait abstraction de la nature du trafic, car c'est là un élément dont il est difficile de tenir compte dans les calculs.

L'égalité de trafic dans les deux sens étant admise, il suffit, pour obtenir la longueur virtuelle d'une ligne, de prendre la moyenne arithmétique entre les deux longueurs virtuelles obtenues en cheminant dans les deux sens (*).

Soit L la longueur totale de la ligne AB, dont la voie a $1^m,44$ de largeur. En allant de A vers B, on a :

(*) Si les courants du trafic étaient différents dans les deux sens, il faudrait tenir compte de cette différence. Soient a et b deux nombres tels que $a + b = 2$, et qui sont proportionnels, l'un à l'intensité du trafic de A vers B, et l'autre à celle du trafic de B vers A. L'expression de l'allongement de longueur dû aux rampes et pentes, contenue dans la valeur de L_v deviendrait alors

$$\frac{1}{2}(a\alpha l_1 + b\alpha' l_1).$$

l_0 la longueur des sections en alignement droit et de niveau;

l_1 la longueur des sections en rampe;

l_i celle des sections en pente;

l_c la longueur des sections en courbes.

La longueur totale de la ligne prendra la forme:

$$L = l_0 + l_1 + l_i.$$

L'expression de la longueur virtuelle dans le sens AB sera:

$$l_0 + l_1(1+\alpha) + l_i + \beta l_c.$$

Dans le sens BA, on aura au contraire:

$$l_0 + l_1 + l_i(1+\alpha') + \beta l_c.$$

Ces deux expressions de la longeur virtuelle dans le sens AB et dans le sens BA ont été établies en admettant que la longueur virtuelle d'une section en pente soit égale à celle d'une section de même longueur en palier. Nous justifierons plus loin cette hypothèse.

La longueur virtuelle moyenne cherchée L_v sera exprimée par

$$2L_v = 2l_0 + 2l_1 + 2l_i + 2\beta l_c + \alpha l_1 + \alpha' l_i;$$

ce qui donne

$$L_v = L + \beta l_c + \frac{1}{2}(\alpha l_1 + \alpha' l_i). \qquad (14)$$

L'équation (14) traduite en langage ordinaire permet de dire:

On obtient la longueur virtuelle relative à la résistance d'une ligne de chemin de fer en ajoutant à la longueur réelle de la ligne:

1° *L'accroissement de la longueur dû à la résistance des courbes;*

2° *La demi-somme des allongements de longueur dus aux pentes et aux rampes, en assimilant les pentes aux rampes pour le calcul des résistances.*

Cette expression de la longueur virtuelle totale d'une ligne peut être obtenue très facilement à l'aide des tableaux des valeurs de α et de β. Mais avant de passer à une application numérique, il reste à justifier l'hypothèse admise plus haut de l'équivalence approximative de la longueur virtuelle d'une section en pente, avec celle d'une section horizontale de même longueur. Cette hypothèse, nous commencerons par le dire, n'est pas conforme à la théorie. La résistance par tonne de trains de marchandises, sur une pente I, est égale à

$$2 + 0{,}05\,V - I.$$

Si $V = 25$ kilomètres, on aura la valeur de I pour laquelle la résistance est nulle en égalant à zéro cette expression,

$$2 + 0{,}05\,V - I = 0,$$
$$I = 3{,}25.$$

Si la pente est supérieure à $3^{mm},25$, elle n'opposera plus de résistance au train, et la théorie indiquerait, dans ce cas, une longueur virtuelle négative. Il serait pourtant inexact d'additionner les longueurs virtuelles positives des rampes avec les longueurs virtuelles négatives des pentes, et d'appliquer rigoureusement les formules mathématiques. Cela reviendrait à supposer que le travail développé par la pesanteur, à la descente, vient en déduction du travail à développer à la montée, ce qui n'a pas lieu la vitesse restant à peu près constante.

De toutes les méthodes admises pour le calcul de la longueur virtuelle des pentes, la méthode des ingénieurs anglais de 1838, nous paraît, à ce point de vue, se rapprocher le plus de l'expression de la vérité. Or, si l'on se reporte au tableau du § 3, alinéa *a*, on verra que, sur les

très faibles pentes, la longueur virtuelle descend depuis la valeur 1 sur un palier, jusqu'à la valeur 0,83 sur les pentes de 2 à 6 millimètres et redevient égale à 1 sur les pentes d'une inclinaison supérieure à 7 millimètres.

Nous simplifierons ces indications de la formule anglaise, en admettant constamment l'équivalence entre la longueur virtuelle d'une pente et celle d'une section horizontale de même longueur.

Pour faire comprendre les motifs qui nous ont porté à admettre cette hypothèse, nous invoquerons des considérations d'exploitation pratique. Car ce que nous voulons, et nous insistons sur ce point, ce n'est pas une formule de théorie pure à l'abri de toute critique mathématique, mais une méthode pratique de calcul des longueurs virtuelles, et répondant au but que nous nous sommes proposé dans l'exposé de cette étude.

L'effort tangentiel exercé sur les rails par les essieux moteurs est moindre à la descente d'une pente faible que sur un palier. Lorsque la pente augmente, l'effort tangentiel devient nul. Mais si l'on considère la dépense d'exploitation entraînée par la circulation des trains, c'est-à-dire les dépenses de transport, il est facile de voir qu'elle ne suit pas la même loi de décroissance. L'analyse des principaux éléments de ces dépenses établira clairement cette différence.

Les dépenses du personnel des machines et des trains sont les mêmes sur un palier que sur une pente faible. Sur une pente forte, il faudra un personnel supérieur, un plus grand nombre de serre-freins que sur un palier.

Les dépenses de combustible sont plus faibles à la descente que sur une section de niveau. La différence est, en général, très sensible; quelques ingénieurs de traction estiment que la consommation de charbon à la descente des pentes est légèrement supérieure à celle d'une machine en stationnement. Néanmoins le mécanicien ne peut pas fermer entièrement le régulateur à la descente, sans danger d'amener une

usure rapide des surfaces frottantes du cylindre qui ne sont plus baignées par la vapeur, sans danger de détériorer le mécanisme par le fait des cendres aspirées dans la boîte à fumée. Aussi, suivant l'importance de la pente, il est de règle, au service de la traction de quelques compagnies, de tenir le régulateur ouvert, et de mettre le levier de changement de marche au premier ou au second cran de la marche en avant ou en arrière.

M. de Freycinet, dans son étude sur les pentes économiques (pages 55 et 233), admet que les dépenses de graissage, d'éclairage, de réparation des machines gardent sur une pente les mêmes valeurs que dans la circulation horizontale, et que la différence entre la consommation de houille d'une machine circulant à vide sur une ligne horizontale, et sa consommation à la descente des fortes rampes est égale environ, au quart de la consommation à vide.

L'entretien de la voie et l'usure de rails provenant de la circulation des véhicules sont les mêmes en palier que sur une pente faible. Sur une forte pente, l'usure de la voie ainsi que celle des bandages sera plus grande que sur une section de niveau, par suite de l'emploi fréquent des freins et de l'augmentation du nombre de ces freins. Il y a une question de sécurité en jeu.

L'usure des rails due à la circulation des machines est inférieure à la descente d'une pente à l'usure en palier. L'effort tangentiel exercé sur les rails par les essieux moteurs diminue jusqu'à devenir nul à mesure que l'inclinaison de la pente augmente. L'augmentation d'usure de la voie et des bandages des roues, due aux freins des véhicules et de la machine, vient compenser, en partie, cette diminution de l'usure des rails provenant de l'action plus faible des roues motrices de la locomotive.

Quant aux autres dépenses d'exploitation se rapportant à la circulation des trains, elles sont les mêmes que le train soit en marche sur un palier ou qu'il descende une pente.

D'après ce qui vient d'être dit, on peut conclure :

1° Que les dépenses de transport sur des pentes inférieures à 5 ou 6 millimètres sont à peu près égales à celles sur un palier;

2° Que sur les pentes d'une inclinaison supérieure à 6 millimètres, on peut admettre que les dépenses de transport sont peu différentes de celles faites sur une section de niveau.

On est en droit de déduire de là l'équivalence entre la longueur virtuelle relative aux dépenses de transport sur une pente, et la longueur virtuelle d'une section de niveau de même longueur. En nous appuyant sur les résultats obtenus par les ingénieurs anglais, nous étendons cette équivalence de la longueur virtuelle relative aux dépenses de transport sur les paliers et sur les pentes, à la longueur virtuelle relative au travail développé. Ce n'est là, il est vrai, qu'une approximation; mais cette méthode approximative est supérieure, à notre avis, à celle qui prendrait pour règle de laisser entièrement de côté les pentes inclinées à plus de $3^{mill.},25$ dans le calcul des longueurs virtuelles, lorsqu'on veut comparer entre eux divers tracés de chemins de fer (*).

---

§ 12. — Calcul de la longueur virtuelle des lignes de Bourges à Montluçon, — de Montluçon à Saint-Sulpice-Laurière et à Aubusson, — de Toulouse à Lexos et à Albi.

L'application de la règle indiquée plus haut conduit au calcul :

1° de l'allongement de longueur virtuelle dû aux courbes;

(*) Nous renvoyons à l'expression de α donnée par l'équation (6), tous ceux qui voudraient tenir compte des longueurs virtuelles négatives des pentes. Il suffira dans l'équation (6) de prendre les signes inférieurs des termes précédés des signes $\pm$ ou $\mp$. Les signes inférieurs correspondent à la pente I.

2° de l'allongement de longueur virtuelle provenant des rampes;

3° de l'accroissement de longueur virtuelle dû à la résistance des pentes assimilées aux rampes.

1° *Influence des courbes.* — Nous donnons dans le tableau suivant, les rayons des courbes de la ligne de Bourges à Montluçon (nouveau réseau), leur développement l_c, la valeur du coefficient β correspondant à chaque rayon, et enfin l'allongement de longueur virtuelle βl_c, dû à la résistance des courbes.

RAYON des courbes.	DÉVELOPPEMENT des courbes l_c.	VALEURS DE β.	ALLONGEMENT de longueur virtuelle βl_c.
mètres.	mètres.		mètres.
400	617	0,783	483,1
500	11.569	0,613	7092,7
550	1.350	0,555	749,2
600	1.347	0,504	678.9
650	534	0,451	240.8
700	2.770	0,410	1135.7
800	6.783	0,340	2306,2
850	269	0,310	83,4
900	1.322	0,282	372.8
1000	9.946	0,224	2228.9
1200	640	0,144	92,2
1300	1.240	0,112	138,9
1350	75	0,098	7,3
1400	1.334	0,089	118.7
1500	6.342	0,079	501.0
1550	1.622	0,076	123,3
1600	1.349	0,072	97,1
1650	1.992	0,069	137,4
2000	1 244	0,058	72.2
2200	597	0,0526	31.4
	Total.		16691,2

L'allongement de longueur virtuelle dû à la raideur des courbes atteint 16k.691 sur toute la longueur de la ligne de Bourges à Montluçon.

2° *Influence des rampes.* — Le calcul de l'influence des rampes se fait comme il est indiqué dans le tableau ci-après; on a désigné par l_1, la longueur des rampes; une rampe d'un développement l_1, correspondant à un coefficient α,

donnera lieu à un accroissement de longueur virtuelle due à la résistance de la rampe, représenté par αl_i.

INCLINAISON des rampes.	LONGUEUR des rampes l_i.	VALEURS DE α.	ACCROISSENENT de longueur virtuelle αl_i.
millimètres.	mètres.		mètres.
0,5	3.700	0,162	599,4
0,6	2.000	0,195	390,0
0,9	2 000	0,294	588,0
1,0	11.500	0,327	3.760,5
1,2	3.060	0,393	1.202,6
1,3	2.050	0,426	873,3
1 5	1.000	0,494	494,0
1,83	900	0,603	542,7
2,0	8.450	0,664	5.610,8
2,5	450	0,839	377,5
2,8	250	0,945	223,7
3,0	2 950	1,017	3.000,1
4,0	1.900	1,383	2.627,7
5,0	17.600	1,764	31.046,4
8,0	400	3,000	1.200,0
9,0	950	3,445	3.272,7
	Total.		55.809,4

L'allongement de longueur virtuelle dû aux rampes de la ligne de Bourges à Montluçon est de 55^k.809.

3° *Influence des pentes.* — Cette influence est consignée dans le tableau suivant :

INCLINAISON des pentes.	LONGUEUR des pentes l_i.	VALEURS DE α'.	ALLONGEMENT de longueur virtuelle $\alpha' l_i$.
millmètres.	mètres.		mètres.
1,5	600	0,494	296,4
4,0	1500	1,383	2.074,5
5,0	8850	1,764	15.611,4
	Total.		17.982,3

L'accroissement de longueur virtuelle dû aux pentes est sur toute la ligne de Bourges à Montluçon de 17^k.982.

Longueur virtuelle totale. — Avec les éléments de la longueur virtuelle de la ligne de Bourges à Montluçon cal-

culés précédemment, on obtient la longueur virtuelle totale en appliquant la règle que nous avons formulée.

	kilom.
Longueur réelle de la ligne.	101,700
Influence des courbes.	16,691
Demi-somme des influences des rampes et des pentes. .	36,896
Longueur virtuelle totale. . .	155,287

La longueur virtuelle de la ligne de Bourges à Montluçon est de 155k,287.

Ligne de Toulouse à Lexos et à Albi. — Le calcul de la longueur virtuelle totale de cette ligne a été fait d'après la même règle. On ne donnera que les résultats définitifs de ce calcul :

	kilom.
Longueur réelle de la ligne.	105,516
Influence des courbes.	15,897
Demi-somme des influences des rampes et des pentes. .	100,927
Total.	222,340

La longueur virtuelle de la ligne de Toulouse à Lexos et à Albi est de 222k,340.

Ligne de Montluçon à Saint-Sulpice-Laurière et à Aubusson. — On indiquera encore les résultats de la recherche de la longueur virtuelle de cette ligne.

	kilom.
Longueur réelle de la ligne.	146,335
Influence des courbes.	43,808
Demi-somme des influences des rampes et des pentes. .	266,486
Total.	456,629

La longueur virtuelle de la ligne de Montluçon à Saint-Sulpice-Laurière et à Aubusson est de 456k,629.

Dans le chapitre suivant, nous dirons, à l'occasion de la détermination du prix de revient de la tonne kilométrique, pourquoi notre choix s'est porté sur les trois lignes dont on vient d'établir la longueur virtuelle.

---

§ 13. — Coefficient virtuel. — Moyenne des rampes et pentes.

On désignera sous le nom de *coefficient virtuel*, le rapport de la longueur virtuelle d'une ligne à la longueur réelle de cette ligne.

Les coefficients virtuels des trois lignes étudiées seront :

Bourges à Montluçon.	1,526
Toulouse à Lexos et à Albi.	2,107
Montluçon à Saint-Sulpice	3,120

Ce coefficient représente la résistance moyenne par kilomètre de chacune des trois lignes. *Il peut donc servir de mesure au travail mécanique moyen à développer, par kilomètre et par tonne de poids brut circulant sur ces lignes.*

La moyenne des rampes d'une ligne est la rampe fictive obtenue en admettant que toutes les sections en rampe d'une ligne aient une inclinaison constante et telle que la hauteur franchie par la rampe fictive soit égale à celle gravie effectivement par les rampes de la ligne. On aura cette rampe moyenne en divisant la somme des hauteurs franchies en rampe par le développement total des sections en rampe. On arrivera de même à la pente moyenne en divisant la somme des hauteurs descendues en pente, par le développement de ces pentes.

On obtiendra sur les trois lignes étudiées les valeurs suivantes de la rampe et de la pente moyennes :

	Rampe moyenne.	Pente moyenne.
Bourges à Montluçon.	2,73	4,68
Toulouse à Lexos et à Albi. . .	5,74	8,20
Montluçon à Saint-Sulpice. . .	10,71	10,72

Introduisons ces rampes et ces pentes moyennes dans le calcul de la longueur virtuelle des trois lignes : on n'aura

plus alors qu'une longueur virtuelle approximative, mais qu'on obtiendra beaucoup plus rapidement que la longueur virtuelle exacte. Il suffira, en effet, de chercher dans le tableau, page 518, les valeurs du coefficient α correspondantes à la rampe moyenne et à la pente moyenne d'une ligne, à multiplier les deux chiffres ainsi trouvés, le premier par la longueur des sections en rampe, le second par la longueur des sections en pente, et à additionner les produits ainsi obtenus. La moitié de la somme sera l'allongement de longueur virtuelle due aux rampes.

Les longueurs virtuelles approximatives calculées de cette manière :

	Ligne de Bourges à Montluçon. kilom.	Ligne de Toulouse à Lexos et à Albi, kilom.	Ligne de Montluçon à Saint-Sulpice-Laurière. kilom.
Longueur réelle de la ligne.	101,700	105,516	146,337
Influence des courbes. . .	16,691	15,897	43,808
Influence des rampes et pentes (demi-somme). .	36,001	96.158	260,967
Longueurs virtuelles. . . .	154.392	217.571	451.112

Si l'on compare ces résultats approximatifs avec les longueurs virtuelles calculées rigoureusement, on s'aperçoit que les différences sont faibles; la longueur virtuelle approximative obtenue à l'aide de la rampe et de la pente moyenne est toujours inférieure à la longueur virtuelle calculée exactement. Le tableau suivant indique les deux longueurs virtuelles de chaque ligne :

	Longueur virtuelle calculée exactement. kilom.	Longueur virtuelle approximative. kilom.
Bourges à Montluçon.	153,3	154,4
Toulouse à Lexos et à Albi. . . .	222,3	217,6
Montluçon à Saint-Sulpice-Laurière et à Aubusson.	456,6	451,1

De même, si l'on cherche le coefficient virtuel approxi-

matif, et si on le compare au coefficient virtuel calculé exactement, on arrive aux chiffres suivants, très peu différents les uns des autres :

	Coefficient virtuel exact.	Coefficient virtuel approximatif.
Bourges à Montluçon.	1,526	1,518
Toulouse à Lexos et à Albi.	2,107	2,062
Montluçon à Saint-Sulpice et à Aubusson	3,120	3,083

La faible différence qui existe entre les chiffres calculés exactement et ceux déterminés par la méthode approximative de la pente et de la rampe moyenne permet, sans grande erreur, de substituer au calcul exact, mais quelquefois très long (si le profil est très accidenté), de l'accroissement de longueur virtuelle dû aux rampes et pentes, le calcul approximatif de l'allongement de parcours virtuel correspondant à la rampe et à la pente moyenne. Néanmoins, à mesure que l'inclinaison des pentes et rampes devient plus forte, la différence entre la méthode exacte et la méthode approximative s'accentue de plus en plus. Lorsque les rampes d'un profil en long dépassent 20 millimètres, il convient, croyons-nous, de renoncer à la méthode approximative.

CHAPITRE IV.

RELATION ENTRE LA DÉPENSE D'EXPLOITATION ET LA LONGUEUR VIRTUELLE OU LE COEFFICIENT VIRTUEL.

---

§ 14. — Calcul des dépenses d'exploitation par tonne et kilomètre sur les lignes de Bourges à Montluçon, — de Toulouse à Lexos et à Albi, — de Montluçon à Saint-Sulpice-Laurière et à Aubusson.

Choix des lignes. — L'évaluation du prix de revient du transport d'une tonne à 1 kilomètre aura lieu, pour chacune des trois lignes de

Bourges à Montluçon,

Toulouse à Lexos et à Albi,

Montluçon à Saint-Supice-Laurière et à Aubusson, dont on a déjà calculé les longueurs virtuelles.

Dans le choix de ces trois lignes, on s'est laissé guider par les considérations suivantes :

1° Situation analogue des lignes au point de vue de l'organisation des services de l'exploitation; les trois lignes en question appartiennent au nouveau réseau de la compagnie d'Orléans;

2° Intensité du trafic identique sur ces lignes; le trafic sur les trois lignes étudiées a donné des recettes, par kilomètre, qui diffèrent peu d'une ligne à l'autre, dans les années antérieures à 1876. En particulier, en 1875, la recette kilométrique (*) s'élève :

	fr.
Bourges à Montluçon.	21.135
Toulouse à Lexos et à Albi.	21.369
Montluçon à Saint-Sulpice.	21.450

(*) Tous les chiffres que nous indiquerons sur les résultats de l'exploitation des trois lignes en question, ou sur ceux du nouveau réseau de la compagnie d'Orléans sont extraits, soit du tableau

3° Conditions différentes de ces lignes au point de vue du profil en long. La ligne de Bourges à Montluçon a un profil facile. Ses courbes les plus raides sont de 500 mètres de rayon; elle peut être considérée comme une ligne dont les rampes ne dépassent pas 5 millimètres.

Le tracé de la ligne de Toulouse à Lexos et à Albi est de beaucoup plus difficile que celui de la ligne de Bourges à Montluçon. Il contient des rampes de $12^{mm},5$ sur des parcours assez longs; il n'a pas de rampe supérieure à $12^{mm},5$. Le rayon des courbes descend jusqu'à 350 mètres.

La ligne de Montluçon à Saint-Sulpice-Laurière et à Aubusson a le profil en long le plus difficile des trois lignes étudiées. Elle a des courbes de 300 mètres de rayon et des rampes qui atteignent 15 millimètres.

Les trois lignes choisies ont, pendant les années 1872, 1873, 1874, 1875, des recettes kilométriques à peu près identiques; mais les dépenses d'exploitation, par suite de la différence des profils en long, sont loin d'être les mêmes sur les trois lignes. L'analyse des résultats de l'exploitation de ces lignes montrera, d'une façon approximative, l'influence du profil en long sur la dépense d'exploitation par tonne et par kilomètre.

Méthode de calcul du prix de revient approximatif. — Le calcul du prix de revient par tonne kilométrique de marchandises sera effectué pour la période de 1872 à 1875; pendant cette période, les recettes kilométriques sur les trois lignes sont chaque année à peu près les mêmes.

Nous donnons ci-après le tableau des recettes kilométriques, ainsi que la longueur de chacune des trois lignes :

---

n° 15, série G, de la statistique du ministère des travaux publics, soit des comptes rendus aux actionnaires de la compagnie d'Orléans.

SECTIONS.	LONGUEUR.	RECETTES KILOMÉTRIQUES.			
		1872	1873	1874	1875
	kilomètres.	francs.	francs.	francs.	francs.
Bourges à Montluçon . . .	100	20.226	19.604	20.232	21.135
Toulouse à Lexos et à Albi.	106	18 133	19.299	19 854	21.369
Montluçon à Saint-Sulpice.	146	19.334	21.369	20.557	21.450

Les dépenses kilométriques des trois lignes sont, au contraire, différentes les unes des autres. Nous les indiquons ci-après, pour la période de 1872 à 1875 :

SECTIONS.	DÉPENSES KILOMÉTRIQUES.			
	1872	1873	1874	1875
	francs.	francs.	francs.	francs.
Bourges à Montluçon.	9.820	8.840	9.488	10.943
Toulouse à Lexos et à Albi.	10.874	10.850	11.609	13.243
Montluçon à Saint-Sulpice.	13.568	14.067	14.073	13.882

Les recettes mentionnées plus haut comprennent en bloc, celles de la grande vitesse et celles de la petite vitesse. Le calcul du prix de revient exige la connaissance du tonnage transporté sur chacune des trois lignes. Voici comment nous allons déterminer approximativement ce tonnage :

On supposera que le rapport indiqué par la statistique, pour l'ensemble des lignes du nouveau réseau de la compagnie d'Orléans, entre la recette de la grande vitesse et la recette totale, existe également sur chacune des trois lignes étudiées prises isolément.

Le rapport de la recette de la grande vitesse (voyageurs) à la recette totale du nouveau réseau de la compagnie d'Orléans s'est élevé :

en 1872 à 0,268
en 1873 à 0,265
en 1874 à 0,264
en 1875 à 0,261

En multipliant la recette totale, par année et par kilomètre, de chacune des trois lignes, par le rapport entre la recette des voyageurs et la recette totale de la même année, on arrive au chiffre approximatif de la recette des voyageurs, et par différence, on obtiendra la recette des marchandises.

Connaissant la recette des voyageurs et la recette des marchandises de chacune des trois lignes, en divisant la première par le tarif moyen perçu par voyageur et par kilomètre, la deuxième par le tarif moyen perçu par tonne kilométrique, on aura le tonnage kilométrique des voyageurs et le tonnage kilométrique de la petite vitesse.

Les tarifs moyens appliqués sont ceux relatifs à l'ensemble du nouveau réseau de la compagnie d'Orléans.

Ces tarifs moyens, exprimés en centimes, s'élèvent à :

	1872	1873	1874	1875
Voyageurs	4,5	4,9	4,9	4,8
Marchandises P. V. .	5,7	5,6	5,8	5,8

Les résultats auxquels on arrive sont, pour les voyageurs, consignés dans le tableau suivant :

SECTIONS.	VOYAGEURS KILOMÉTRIQUES.			
	1872	1873	1874	1875
Bourges à Montluçon.	120.688	106 020	108.562	115.000
Toulouse à Lexos et à Albi.	108.000	104.367	106.532	116.187
Montluçon à Saint-Sulpice.	112.911	115.571	110.305	116.625

Le tonnage kilométrique de la petite vitesse est mentionné au tableau suivant :

SECTIONS.	TONNES KILOMÉTRIQUES de petite vitesse.			
	1872	1873	1874	1875
Bourges à Montluçon.	260.263	257.303	256.300	269.293
Toulouse à Lexos et à Albi. . . .	232.807	253.303	251.514	272 241
Montluçon à Saint-Sulpice.	248.300	280.464	260.413	273.310

Au moyen du parcours kilométrique des voyageurs et du tonnage kilométrique des marchandises, nous arriverons au prix de revient du transport d'une tonne de marchandises, en admettant que la dépense d'exploitation par tonne kilométrique de marchandises soit égale à celle du transport d'un voyageur à 1 kilomètre (*). En additionnant les chiffres des deux tableaux précédents, on aura le nombre d'unités transportées, par kilomètre et par an, sur chacune des trois lignes. Le tableau suivant donne les chiffres des unités transportées :

SECTIONS.	UNITÉS TRANSPORTÉES par kilomètre.			
	1872	1873	1874	1875
Bourges à Montluçon.	380,951	363.323	364.862	384.293
Toulouse à Lexos et à Albi. . . .	340.807	357.670	357.046	388.458
Montluçon à Saint-Sulpice.	361.211	396.035	370.718	389.985

On connaît la dépense par kilomètre et par an, sur chacune des trois lignes. En divisant cette dépense par le nombre des unités transportées par kilomètre, on aura au quotient la dépense d'exploitation par tonne et par kilo-

(*) Cette règle approximative qui assimile, au point de vue de la dépense d'exploitation, le voyageur kilométrique à la tonne nette kilométrique, est celle à laquelle nous sommes arrivé dans un mémoire sur les prix de revient des transports par chemins de fer, *Annales des ponts et chaussées*, 1875, 2e sem., tome X.

mètre; c'est le chiffre que nous cherchons. Le tableau suivant renferme, en centimes, le prix de revient du transport d'une tonne à 1 kilomètre sur les trois lignes :

SECTIONS.	PRIX DE REVIENT par tonne kilométrique.			
	1872	1873	1874	1875
	centimes.	centimes.	centimes.	centimes.
Bourges à Montluçon.	2,57	2,43	2,60	2,84
Toulouse à Lexos et à Albi. . . .	3,19	3,08	3,25	3,40
Montluçon à Saint-Sulpice.	3,75	3,55	3,80	3,56

On remarquera que la ligne de Bourges à Montluçon a toujours le prix de revient le plus faible. On a vu que cette ligne avait le tracé le plus facile des trois lignes étudiées. La ligne de Montluçon à Saint-Sulpice-Laurière, d'un profil en long difficile, accuse constamment le prix de revient le plus élevé.

Comparons les prix de revient que l'on vient de déterminer aux coefficients virtuels. On a vu que ces coefficients virtuels sont :

Bourges à Montluçon.	1,526
Toulouse à Lexos et à Albi.	2,107
Montluçon à Saint-Sulpice-Laurière. . . .	3,120

Si l'on se reporte à la définition du coefficient virtuel, on verra que ce coefficient représente la longueur horizontale et rectiligne équivalente au point de vue de la résistance à 1 kilomètre moyen de la ligne étudiée.

Si donc on divise le prix de revient de la tonne kilométrique par le coefficient virtuel, on aura le prix de revient du transport sur 1 kilomètre de longueur virtuelle horizontale et rectiligne. Nous indiquons, dans le tableau ci-après, la valeur de ce prix de revient par kilomètre de longueur virtuelle sur chacune des trois lignes étudiées :

SECTIONS.	PRIX DE REVIENT par tonne et par kilomètre de longueur virtuelle.			
	1872	1873	1874	1875
	centimes.	centimes.	centimes.	centimes.
Bourges à Montluçon.	1,67	1,59	1,70	1,86
Toulouse à Lexos et à Albi. . . .	1,51	1,44	1,54	1,61
Montluçon à Saint-Sulpice.	1,20	1,14	1,22	1,14

On peut déduire diverses conséquences des chiffres de ce tableau :

1° Pour une même ligne, le prix de revient par tonne et par kilomètre de longueur virtuelle n'est pas absolument constant d'une année à l'autre. Les conditions de l'exploitation d'une ligne, au point de vue des dépenses, étant supposées les mêmes pendant la période des quatre années, le prix de revient par tonne et par kilomètre de longueur virtuelle varie avec l'intensité du trafic sur cette ligne;

2° Pour une même ligne, les écarts entre les valeurs extrêmes du prix de revient par tonne et par kilomètre de longueur virtuelle ne sont pas très considérables. D'une ligne à l'autre, ce prix de revient est très différent;

3° A mesure que la difficulté de l'exploitation augmente, ce prix de revient diminue; cela s'explique par ce fait, qu'il n'y a qu'une partie des dépenses du transport proprement dit qui augmente proportionnellement aux difficultés du profil en long. Toutes les autres dépenses d'exploitation restent à peu près les mêmes, quels que soient l'inclinaison des rampes et le rayon des courbes. Or, pour obtenir le prix de revient par tonne et par kilomètre de longueur virtuelle, on a divisé le prix de revient par tonne et par kilomètre de longueur réelle par la longueur virtuelle moyenne de 1 kilomètre de ligne. Le dénominateur augmente, par conséquent, proportionnellement aux difficultés

du profil en long, tandis qu'il n'y a qu'une partie du numérateur qui augmente dans la même proportion. Le quotient doit, par suite, aller en diminuant;

4° La conclusion la plus importante qui découle des chiffres du tableau est qu'on ne saurait comparer, comme on l'a fait souvent, une longueur virtuelle relative au travail mécanique à une longueur virtuelle relative aux dépenses d'exploitation. Une telle comparaison ne serait possible, en effet, que s'il y avait proportionnalité entre les deux longueurs virtuelles, ou encore s'il existait un rapport constant entre la dépense d'exploitation, par tonne et kilomètre de longueur réelle et le coefficient virtuel. Or le tableau précédent montre qu'une telle proportionnalité n'existe pas, et que le rapport en question, constant à peu près pour une même ligne, varie beaucoup quand on passe d'une ligne ayant un profil en long déterminé, à une autre ligne à profil en long plus difficile.

---

§ 15. — Formule de la dépense d'exploitation par tonne et par kilomètre.

Nous terminerons cette étude sur les longueurs virtuelles, par la recherche de la relation expérimentale qui lie la dépense d'exploitation par tonne kilométrique de marchandises de petite vitesse, à la longueur virtuelle d'une ligne de chemins de fer.

Désignons par

D la dépense d'exploitation par tonne de marchandises et par kilomètre, le service de l'exploitation étant supposé organisé de la même manière que sur les réseaux français.

$\frac{R}{2}$ la fréquentation, dans chaque sens, d'une ligne dont le trafic est supposé le même dans les deux sens.

C_0 le coefficient virtuel de cette ligne.

P le parcours moyen d'une tonne.

L'expression de R se compose d'autant d'unités qu'il y a de fois 1.000 francs dans la recette kilométrique annuelle d'une ligne. Si cette recette kilométrique s'élève à 20.000 francs, par exemple, R sera égal à 20, et la fréquentation $\frac{R}{2}$ sera de 10.

La valeur de la dépense D exprimée en centimes, peut se mettre sous la forme

$$D = \frac{80}{P} + z + y\frac{1}{\left(\frac{R}{2}\right)^{\frac{1}{x}}} + uC_v\frac{1}{\left(\frac{R}{2}\right)^{\frac{1}{x}}}. \qquad (1)$$

Dans cette équation le terme $\frac{80}{P}$ représente les dépenses de manutention, à l'arrivée et au départ, rapportées à la tonne kilométrique. Ces dépenses de manutention sont les mêmes quel que soit le parcours de la marchandise.

Le terme z est la partie de la dépense d'exploitation indépendante de la fréquentation.

Une fraction de la dépense d'exploitation par tonne kilométrique diminue lorsque la fréquentation augmente; les deux derniers termes de l'expression de D correspondent à cette fraction de la dépense; l'un est indépendant du coefficient virtuel, l'autre varie proportionnellement à ce coefficient virtuel.

L'expression de D contient quatre inconnues x, y, z et u, et l'on a, pour les déterminer, autant d'équations de la forme de l'équation (1); les valeurs des termes connus D, P, R et C_v varient d'une équation à l'autre.

N'ayant pas pu obtenir une solution directe de l'équation (1), nous avons été obligé de recourir à une méthode approximative pour arriver à résoudre la question.

La principale difficulté consistait dans la détermination de l'exposant $\frac{1}{x}$ de la fréquentation $\frac{R}{2}$. Deux hypothèses ont

été appliquées aux résultats d'exploitation des diverses lignes ou sections de lignes qui ont été étudiées.

1°) On a admis d'abord que la diminution d'une fraction du prix de revient de la tonne kilométrique était proportionnelle à l'accroissement de la fréquentation $\left(\frac{1}{x} = 1\right)$.

2°) On a supposé ensuite que cette diminution était proportionnelle à la racine carrée de la fréquentation $\left(\frac{1}{x} = \frac{1}{2}\right)$.

Après de nombreux essais on est arrivé aux trois formules suivantes:

1°) *Formule applicable aux principales lignes de l'ancien réseau.*

(*a*) $$D = 0{,}85 + \frac{12}{\sqrt{2R}} + \frac{6C_v}{\sqrt{2R}},$$

la recette kilométrique ne devra pas dépasser 150.000 fr., sinon, il faudrait modifier l'exposant $\frac{1}{x}$ de la fréquentation $\frac{R}{2}$; la re cette kilométrique devra être supérieure à 30.000 francs.

2°) *Formule applicable aux principales lignes du nouveau réseau.*

(*b*) $$D = 0{,}9 + \frac{6}{\sqrt{2R}} + \frac{4C_v}{\sqrt{2R}}.$$

La recette kilométrique devra être comprise entre 10.000 et 30.000 francs.

3°) *Formule applicable au réseau d'intérêt local.*

(*c*) $$D = 1{,}0 + \frac{16}{R} + \frac{6C_v}{R}.$$

La recette kilométrique devra être inférieure à 10.000 fr. pour que l'on puisse appliquer cette formule.

Les trois équations (*a*), (*b*) et (*c*) permettent de calculer sur une ligne quelconque le prix de revient du transport de la tonne kilométrique en fonction de la fréquentation et du coefficient virtuel de cette ligne.

Comme vérification, on appliquera ces formules à un certain nombre de lignes. Les résultats sont consignés dans le tableau suivant :

LIGNES ou sections de lignes.	LONGUEUR en kilomètres.	RECETTE kilométrique.	COEFFICIENT virtuel de résistance.	PRIX DE REVIENT par tonne nette kilométrique		FORMULE appliquée.	DIFFÉRENCE entre les deux prix de revient	
				effectif.	calculé avec la formule.		absolue.	p. 100
		francs.		centimes.	centimes.			
Paris à Lyon (1877).	511,3	156.100	1,453	2,08	2,02	(*a*)	—0,06	2,8
Lyon à Avignon (1877).	229,6	184.400	1,376	1,60	»	»	—	—
Semmering (1878).	41,2	71.600	5,266	4,25	4,50	(*a*)	0,25	5,6
Société autrichienne (nouveau réseau) (1877). . . .	203,0	46.700	1,941	3,22	3,31	(*a*)	+0.09	2,8
Bourges à Montluçon (1874).	101,7	20,200	1,526	2,60	2,78	(*b*)	+0,18	6,9
Montluçon à Saint-Sulpice (1874) . .	146,3	20.500	3,120	3,80	3,79	(*b*)	—0,01	0,2
Toulouse à Lexos (1874).	105,5	19.800	2,107	3,25	3,19	(*b*)	—0,06	1,9
Vitré à Fougères (1868).	35,6	4.730	2,803	7,84	7,90	(*c*)	+0,06	0,7
Maine-et-Loire (1877).	63,6	4.850	2,620	7,52	7,54	(*c*)	+0.02	0,3

Les différences entre les prix de revient effectifs et ceux calculés d'après les formules sont faibles.

Il est permis de conclure que les trois formules mentionnées plus haut donnent très approximativement le prix de revient du transport de la tonne kilométrique dans les limites indiquées pour chacune de ces formules.

La ligne de Lyon à Avignon, dont la recette kilométrique est notablement supérieure à 150.000 francs, fait exception; notre formule (*a*) ne saurait lui être appliquée. Ces

exceptions sont très rares en France ; il y a fort peu de lignes dont les recettes kilométriques sont supérieures à 150.000 francs.

Nous aurions voulu déterminer, d'après la formule (*c*), le prix de revient de la tonne kilométrique sur la ligne entière de Vitré à Fougères, entre Vitré et Mordrey. Nous ne possédions que le profil en long de la section la plus difficile de cette ligne, entre Vitré et Fougères. Néanmoins si l'on prend l'année 1877, pour laquelle $R = 6{,}7$, en admettant que C_v ne dépasse pas 2,1, ce qui ne doit différer que fort peu de la réalité sur la longueur de 81 kilom. de la ligne entière, on trouve, d'après la formule (*c*),

$$D = 5^{\text{cent.}},1.$$

La dépense effective par tonne kilométrique, en 1877, est à peu de chose près égale à $4^{\text{cent.}},5$. Cela montre que, tout en tenant compte de ce que les frais de renouvellement de la voie et du matériel roulant sont encore faibles, l'exploitation de cette ligne est faite dans des conditions d'une remarquable économie.

En ce qui concerne le Semmering, nous avons pu obtenir quelques renseignements sur les résultats de l'exploitation de cette section à fortes rampes (*).

(*) M. Schuler, directeur général des chemins du sud de l'Autriche, a bien voulu nous faire connaître ces résultats pour l'année 1878, à la demande de notre maître et ancien chef, M. Kopp, ingénieur des ponts et chaussées, directeur général de la société autrichienne I. R. P., auquel nous nous étions adressé. Si notre formule de la dépense d'exploitation par tonne nette kilométrique se vérifie à peu près pour le Semmering (dans l'hypothèse de 1 tonne nette pour 2,5 tonnes de poids brut), il n'en est plus de même pour la formule du § 17. Les chiffres de M. Schuler indiquent un coefficient d'exploitation de 36 p. 100 sur le Semmering. Ce coefficient est très faible, eu égard au profil du Semmering. Notre formule, § 17, donne des dépenses, par kilomètre de ligne, supérieures aux dépenses mentionnées par M. Schuler.

§ 16. — Coefficient virtuel relatif à la dépense d'exploitation par tonne kilométrique.

A l'aide des formules du prix de revient de la tonne kilométrique de marchandises, on peut déterminer le coefficient virtuel relatif à ce prix de revient sur des lignes dont la résistance est connue.

Si nous appelons D′ le prix de revient sur une ligne dont la fréquentation est $\frac{R}{2}$, et dont le coefficient virtuel relatif à la résistance est C_v, on aura, d'après l'équation (a) :

$$D' = 0{,}85 + \frac{12}{\sqrt{2R}} + 6\frac{C_v}{\sqrt{2R}},$$

Si l'on suppose $C_v = 1$, cette équation donnera le prix de revient D, sur une section en palier :

$$D = 0{,}85 + \frac{12}{\sqrt{2R}} + \frac{6}{\sqrt{2R}} = 0{,}85 + \frac{18}{\sqrt{2R}},$$

on tire de là :

$$\frac{D'}{D} = \frac{0{,}85 + \frac{12}{\sqrt{2R}} + 6\frac{C_v}{\sqrt{2R}}}{0{,}85 + \frac{18}{\sqrt{2R}}} = \frac{0{,}85\sqrt{2R} + 12 + 6C_v}{0{,}85\sqrt{2R} + 18},$$

Or, $\frac{D'}{D}$ est précisément le coefficient virtuel relatif à la dépense d'exploitation par tonne nette kilométrique.

Nous donnons dans le tableau suivant les valeurs de ce coefficient pour des recettes kilométriques variant de 10.000 à 150.000 francs, et avec des rampes continues allant en augmentant de 0,00 à 30 millimètres.

COEFFICIENT virtuel relatif à la résistance de la ligne.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
RAMPE FICTIVE continue et équivalente.	0,00	3,00	5,60	8,00	10,20	12,23	14.10	15,86	17.57	19,13	20,51	21,87	23,20	24,53	25,83	27,09	28,12	29,11	30,00
RECETTES kilométriques.	PRIX de revient par tonne et kilomètre sur un palier rectiligne.	COEFFICIENT VIRTUEL relatif à la dépense d'exploitation par tonne kilométrique.																	
francs.	centimes.																		
10.000	3,25	1,26	1,51	1,76	2,02	2,27	2,52	2,78	3,03	3,28	3,54	3,79	4,05	4,30	4,55	4,81	5,06	5,31	5,56
20.000	2,99	1,25	1,49	1,74	1,98	2,23	2,47	2,72	2,96	3,21	3,45	3,70	3,94	4,19	4,48	4,68	4,92	5,47	5,41
30.000	2,82	1,24	1,47	1,71	1,94	2,17	2,41	2,64	2,88	3,11	3,35	3,58	3,82	4,05	4,29	4,52	4,76	4,99	5,23
40.000	2,70	1,23	1,46	1,70	1,93	2,16	2,39	2,63	2,86	3,10	3,33	3,56	3,80	4,03	4,26	4,49	4,72	4,95	5,18
50.000	2,59	1,22	1,45	1,67	1,89	2,12	2,34	2,57	2,79	3,02	3,25	3,48	3,71	3,91	4,17	4,40	4,63	4,85	5,08
60.000	2,48	1,22	1,44	1,66	1,88	2,10	2,32	2,54	2,76	2,97	3,19	3,41	3,63	3,85	4,07	4,28	4,50	4,72	4,95
70.000	2,36	1,21	1,42	1,64	1,85	2,06	2,28	2,49	2,71	2,92	3,14	3,35	3,57	3,78	3,99	4,21	4,43	4,64	4,85
80.000	2,27	1,21	1,41	1,62	1,83	2,04	2,25	2,46	2,67	2,87	3,08	3,29	3,50	3,71	3,92	4,13	4,34	4,54	4,75
90.000	2,19	1,20	1,40	1,61	1,81	2,01	2,22	2,42	2,63	2,83	3,04	3,21	3,45	3,65	3,86	4,06	4,27	4,47	4,68
100.000	2,11	1,20	1,40	1,60	1,80	2,00	2,20	2,40	2,60	2,80	3,00	3,20	3,40	3,60	3,80	4,00	4,20	4,40	4,60
110.000	2,06	1,20	1,39	1,59	1,79	1,98	2,18	2,37	2,57	2,77	2,96	3,16	3,36	3,55	3,75	3,94	4,14	4,34	4,53
120.000	2,01	1,19	1,38	1,57	1,77	1,96	2,15	2,34	2,54	2,73	2,92	3,11	3,31	3,50	3,69	3,88	4,08	4,27	4,46
130.000	1,97	1,19	1,38	1,57	1,76	1,95	2,14	2,33	2,52	2,71	2,89	3,08	3,27	3,46	3,65	3,84	4,03	4,22	4,40
140.000	1,92	1,19	1,38	1,56	1,75	1,93	2,12	2,31	2,49	2,68	2,86	3,05	3,24	3,42	3,61	3,79	3,98	4,17	4,35
150.000	1,88	1,18	1,36	1,55	1,73	1,91	2,10	2,28	2,46	2,65	2,83	3,01	3,20	3,38	3,56	3,75	3,93	4,11	4,29

Lorsque la recette kilométrique est inférieure à 10.000 fr., on peut admettre, avec une grande approximation, que les coefficients virtuels relatifs à la dépense d'exploitation par tonne kilométrique, sont les mêmes que dans le cas d'une recette kilométrique de 10.000 francs.

Quant au prix de revient de la tonne kilométrique, lorsque la recette est inférieure à 10.000 francs, il atteint à peu près les valeurs suivantes, sur une ligne en palier et en alignement droit.

Recettes kilométriques.	Prix de revient en palier.	Recettes kilométriques.	Prix de revient en palier.
3.000 francs.	8,33 centimes.	7.000 francs.	4,14 centimes.
4.000 —	6,50 —	8.000 —	3,75 —
5.000 —	5,40 —	9.000 —	3,44 —
6.000 —	4.66 —		

La première colonne horizontale du tableau précédent, indique les coefficients virtuels relatifs à la résistance qu'oppose une ligne à la marche des trains. La deuxième colonne horizontale donne la rampe moyenne fictive que devrait avoir une ligne sur toute sa longueur, pour donner lieu à un coefficient virtuel de résistance égal au chiffre placé audessus, dans la première colonne horizontale. Cette rampe moyenne, d'après ce qui a déjà été dit dans le corps du mémoire, n'est qu'approximative.

La première colonne verticale du tableau donne les recettes annuelles kilométriques pour lesquelles on a déterminé le coefficient virtuel relatif à la dépense d'exploitation. La deuxième colonne verticale donne la dépense d'exploitation sur une ligne ayant un coefficient virtuel de résistance égal à 1, c'est-à-dire sur un chemin de niveau et rectiligne. Dans cette colonne, les chiffres compris entre les recettes kilométriques de 10.000 à 60.000 francs, ont été obtenus en prenant des moyennes entre les résultats fournis par les trois formules, et en interpolant. On a été obligé de recourir à ce procédé pour éviter les anomalies

résultant, aux points de soudure, de l'emploi successif de formules différentes.

A partir de la troisième colonne verticale jusqu'à la dernière, on a calculé, pour des coefficients virtuels de résistance variant de 1 à 19, les coefficients de la dépense d'exploitation correspondante.

Voici comment on devra se servir de ce tableau :

Une ligne de chemins de fer a une recette probable de 70.000 francs par kilomètre, et un coefficient virtuel de résistance égal à 3.

Quelle sera, sur cette ligne, la dépense d'exploitation par tonne kilométrique?

La dépense par tonne kilométrique sur une ligne en palier ayant une recette de 70.000 francs est, d'après le tableau, de $2^{\text{centimes}},36$. Le coefficient de la dépense d'exploitation qui correspond à un coefficient de résistance égal à 3, est de 1,42. La dépense d'exploitation approximative cherchée sera $2,36 \times 1,42 = 3^{\text{centimes}},35$.

Il est presque superflu d'observer que les coefficients virtuels relatifs à la dépense d'exploitation par tonne kilométrique de marchandises contenues dans le tableau précédent, représentent également le nombre des kilomètres de longueur virtuelle, équivalente, au point de vue de la dépense d'exploitation, à un kilomètre de longueur réelle ayant un coefficient de résistance mentionné en tête de chaque colonne verticale.

---

§ 17. — Formule de la dépense d'exploitation par kilomètre de ligne.

Comme dernière application de la méthode qui vient d'être exposée, nous indiquerons la formule à laquelle nous sommes arrivé, pour déterminer la dépense d'exploitation, par kilomètre, sur une ligne dont la recette pro-

bable est connue, ainsi que le coefficient virtuel relatif à la résistance de cette ligne.

Soit D cette dépense, en désignant par

R la recette kilométrique annuelle,

C_v le coefficient virtuel de résistance déterminé comme il a été dit plus haut.

On obtient la formule :

$$D = 2.800 + 0,13R(1 + C_v) \text{ (*)}.$$

Si l'on applique cette formule aux lignes ou sections de ligne qui ont déjà été étudiées dans le cours de ce travail, on obtient les résultats consignés dans le tableau suivant:

LIGNES ou sections de lignes.	RECETTE kilo-métrique.	COEFFI-CIENT virtuel de la résistance.	DÉPENSE d'exploitation par kilomètre.		DIFFÉRENCE	
			effective.	calculée avec la formule.	absolue.	p. 100.
	francs.		francs.	francs.	francs.	
Paris à Lyon (1877)	156.100	1.453	51.500	52.500	+ 1.000	1,96
Société autrichienne (nouveau réseau 1877)	46.800	1,941	20.400	20.700	+ 300	1,47
Bourges à Montluçon (1874)	20.200	1.526	9.500	9.800	+ 300	3,15
Montluçon à Saint-Sulpice (1874)	20.500	3,120	14.100	13.800	— 300	2,13
Toulouse à Lexos (1874)	19.800	2.107	11.600	10.800	— 800	6,89
Vitré à Fougères (1868)	4.730	2,803	4.530	5.130	+ 600	13,23
Maine-et-Loire (1877)	4.850	2,620	4.760	5.080	+ 320	6,72

Les différences signalées dans les deux dernières colonnes

(*) Cette formule est un peu plus simple que celle à laquelle nous ont conduit nos calculs. Nous avons obtenu, en effet, la relation

$$D = 2.800 + 0,13R + 0,14RC_v,$$

de laquelle nous avons déduit la formule que nous proposons en prenant, vu la faible différence, le même coefficient pour le terme en R et celui en RC_v.

de ce tableau sont sensibles pour les lignes de Vitré à Fougères et de Maine-et-Loire. Elles n'ont cependant rien de surprenant, si l'on observe que les résultats indiqués pour ces deux lignes s'appliquent à la période du commencement de leur exploitation, et que par suite les frais de réfection et de renouvellement de la voie et du matériel roulant sont presque nuls.

Sur les lignes du réseau d'intérêt général qu'il reste à construire, le coefficient virtuel relatif à la résistance aura souvent une valeur qui atteindra et dépassera même quelquefois 3. La formule de la dépense kilométrique devient, dans l'hypothèse d'un coefficient virtuel de résistance, égal à 3 :

$$D = 2.800 + 0,52\ R.$$

Il nous a semblé qu'il pourrait être utile de connaître les résultats numériques que donne la formule de la dépense kilométrique, lorsque l'on fait varier la recette R et le coefficient C_v.

Le tableau suivant donne le chiffre de la dépense d'exploitation par kilomètre pour une recette kilométrique et un coefficient virtuel déterminés. On a préféré indiquer dans ce tableau les valeurs de la dépense d'exploitation par kilomètre, lorsque la recette R et le coefficient C_v varient, plutôt que de calculer le coefficient de cette dépense d'exploitation. On eût pu procéder, comme on l'a fait pour le prix de revient par tonne kilométrique déterminé dans le paragraphe précédent; on serait arrivé, dans ce cas, à calculer un coefficient qui eut été

$$\frac{D'}{D_0} = \frac{2800 + 0,13\ R(1 + C_v)}{2800 + 0,26\ R}.$$

D_0 est la dépense en palier.

COEFFICIENT virtuel relatif à la résistance de la ligne.	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	3,0	3,8	4,0	4,2	4,4	4,6	4,8	5
RAMPE FICTIVE continue et équivalente en millimètres.	0,00	0,62	1,22	1,81	2,39	2,95	3,50	4,05	4,57	5,10	5,60	6,10	6,62	7,07	7,54	8,00	8,40	8,90	9,34	9,78	10,20
RECETTE kilométrique.	DÉPENSE D'EXPLOITATION PAR KILOMÈTRE DE LIGNE.																				
francs.																					
3 000	3.580	3.658	3.736	3.814	3.892	3.970	4.048	4.126	4.204	4.282	4.360	4.438	4 516	4.594	4.672	4.750	4.828	4.906	4.984	5.062	5.140
4 000	3.840	3.944	4.048	4.152	4.256	4 360	4 464	4.568	4.672	4 776	4.880	4.984	5.088	5.192	5.296	5.400	5.504	5.608	5.712	5.816	5 920
5.000	4.100	4.230	4.360	4.490	4.620	4.750	4.880	5 010	5.140	5.270	5.400	5.530	5.660	5.790	5.920	6.050	6.180	6 310	6.440	6.570	6.700
6.000	4 360	4.516	4.672	4.828	4.984	5 140	5.296	5.452	5.608	5.764	5.920	6 076	6.232	6.388	6.544	6.700	6.856	7.012	7 168	7.324	7.480
7 000	4.620	4.802	4.984	5 166	5 348	5.530	5.712	5 894	6.076	6.258	6.440	6.622	6.804	6.986	7.168	7.350	7.532	7.714	7.896	8.078	8 260
8.000	4.880	5.088	5.296	5 504	5.712	5 920	6.128	6 336	6 544	6.752	6.960	7 168	7.376	7.584	7.792	8.000	8.208	8.416	8.624	8.832	9.040
9.000	5.140	5.374	5 608	5.842	6.076	6.310	6.544	6.778	7.012	7.246	7.480	7.714	7.948	8.182	8.416	8.650	8.884	9.118	9.352	9.586	9 820
10 000	5 400	5.660	5 920	6.180	6 440	6.700	6.960	7.220	7.480	7 740	8.000	8.260	8.520	8.780	9 040	9.300	9.560	9.820	10.080	10.340	10.600
11.000	5.660	5.946	6 232	6.518	6.804	7.090	7.376	7.662	7.948	8.234	8.520	8.806	9.092	9.378	9.664	9.950	10 236	10.522	10.808	11.094	11.380
12 000	5.920	6.232	6 544	6 856	7,068	7.480	7.792	8.104	8.416	8.728	9.040	9.352	9.764	10 076	10.388	10.600	10.912	11.224	11.536	11.848	12.160
13 000	6.180	6 518	6.856	7.194	7.532	7,870	8.208	8 546	8.884	9.222	9.560	9.898	10.236	10.574	10.912	11 250	11 588	11.926	12.264	12.602	12.940
14.000	6.440	6.804	7.168	7.532	7.896	8 260	8 624	8.988	9.352	9.716	10.080	10.444	10.808	11.172	11.536	11.900	12 264	12.628	12.992	13 356	13.720
15 000	6 700	7.090	7.480	7.870	8.260	8.650	9.040	9.430	9 820	10.210	10.600	10 990	11.380	11.770	12.160	12.550	12.940	13.330	13.720	14.110	14.500
16.000	6.960	7.376	7.792	8.208	8 624	9 040	9.456	9.872	10 288	10.704	11.120	11.536	11.952	12.368	12.784	13.200	13.616	14.032	14.448	14.864	15 280
17 000	7.220	7.662	8,104	8 546	8.988	9.430	9.872	10.314	10.756	11.198	11.640	12.082	12.524	12.966	13.408	13.850	14.292	14.734	15.176	15 618	16.060
18,000	7 480	7.948	8.416	8.884	9.352	9 820	10 288	10 756	11.224	11,692	12.160	12.628	13.096	13 564	14.032	14 500	14,968	15.436	15.904	16.372	16.840
19,000	7 740	8.234	8.728	9 222	9 716	10 210	10.704	11.198	11 692	12,186	12.680	13.174	13.668	14.162	14 656	15.150	15.644	16.138	16 632	17 126	17.620
20.000	8.000	8.520	9.040	9 560	10 080	10.600	11.120	11,640	12.160	12,680	13.200	13 720	14 240	14 760	15.280	15 800	16.320	16,840	17.360	17 880	18.400
21.000	8.260	8.806	9.352	9.898	10 444	10 990	11 536	12.082	12.628	13.174	13.720	14,266	14.812	15 358	15.904	16.450	16,996	17 542	18.088	18.634	19.180
22.000	8 520	9.092	9 664	10 236	10 808	11.380	11.952	12 524	13.096	13.668	14,240	14,812	15,384	15 956	16 528	17.100	17.672	18.244	18.816	19.388	19 960
23.000	8.780	9.378	9.976	10 574	11.172	11.770	12.368	12,966	13.564	14.162	14 760	15 358	15.956	16.554	17.152	17.750	18,348	18 946	19.544	20,142	20.740
24.000	9 040	9 664	10.288	10.912	11.536	12.160	12.784	13.408	14.032	14,656	15.280	15.904	16.528	17.152	17.776	18.400	19.024	19.648	20.272	20 896	21.520
25.000	9.300	9.950	10.600	11.250	11.900	12.550	13.200	13.850	14.500	15.150	15.800	16.450	17.100	17.750	18,400	19.050	19.700	20.350	21.000	21.650	22 300

Nous n'avons pas cru nécessaire de calculer la dépense d'exploitation par kilomètre de ligne, pour des recettes supérieures à 25.000 francs par kilomètre et pour des coefficients virtuels de la résistance supérieurs à 5.

Les lignes du réseau d'intérêt général qui seront encore construites, auront, en effet, presque toujours, une recette kilométrique de beaucoup inférieure à 25.000 francs, et un coefficient virtuel de résistance ne dépassant pas 5. Le cadre de ce dernier tableau est, par suite, suffisamment étendu pour que les résultats qu'il contient puissent s'appliquer, dans la majeure partie des cas, aux lignes encore à construire du réseau d'intérêt général.

Pour se servir du tableau, il faut avoir préalablement déterminé la recette probable de la ligne, et avoir calculé son coefficient virtuel de résistance à l'aide de la méthode indiquée plus haut. On prendra la colonne verticale en tête de laquelle se trouve le coefficient virtuel en question, et la ligne horizontale en tête de laquelle est indiquée la recette probable. On cheminera jusqu'à leur rencontre où se trouvera le chiffre approximatif de la dépense d'exploitation par kilomètre de ligne.

A l'aide de la formule

$$D = 2.800 + 0,13R(1 + C_v),$$

on peut aisément obtenir le rapport $\frac{D}{R}$. Ce rapport de la dépense à la recette d'une ligne, n'est autre chose que ce que l'on appelle le *coefficient d'exploitation* de cette ligne.

On aura :

$$\frac{D}{R} = \frac{2800}{R} + 0,13(1 + C_v).$$

Ce coefficient a une certaine valeur dans le service de l'exploitation d'un réseau de chemins de fer. En donnant à la recette R et au coefficient de résistance C_v d'un chemin

les valeurs déja indiquées pour les diverses lignes étudiées dans ce travail, on peut s'assurer que les résultats fournis par cette formule du coefficient d'exploitation ne s'éloignent pas sensiblement des coefficients d'exploitation effectifs indiqués par les compagnies.

Paris, en novembre 1879.

ANNEXES.

ANNEXE A.

Formules de la résistance des trains sur une ligne en palier et en alignement droit.

Un grand nombre d'ingénieurs se sont occupés de la recherche de l'expression de la résistance que rencontre un train circulant sur une section de niveau et en alignement droit. Nous avons pensé qu'il pouvait être utile de réunir les principales formules et méthodes établies jusqu'à présent pour le calcul de cette résistance, et de les mentionner dans une annexe à notre étude. On a groupé ensemble toutes les formules usitées dans un même pays.

FORMULES ANGLAISES.

a) — *Méthode de* M. PAMBOUR.

Désignons par :

R la résistance du train en livres anglaises,

M le poids des véhicules et du tender en tonnes anglaises,

R_m la résistance de la machine. Cette résistance est évaluée à 15 livres par tonne de machine,

V la vitesse, en milles anglais, par heure,

Σ la surface de résistance à l'air. Cette surface est équivalente à 70 pieds carrés, plus autant de fois 10 pieds carrés qu'il y a de véhicules dans le train.

La formule de Pambour est :

$$R = \left(1 + \frac{1}{7}\right)(6M + 0{,}002687\,\Sigma v^2) + R_m.$$

Dans le système métrique cette formule devient

$$R = (1 + 0{,}137)(2{,}69\,M + 0{,}0050064\,\Sigma v^2) + R_m.$$

b) — *Méthode de* Gooch *et* Sewel.

Si l'on appelle :

R la résistance du train en livres anglaises,

P le poids des véhicules, non compris la machine et le tender, en tonnes anglaises,

p le poids de la machine et du tender en tonnes anglaises,

V le volume du train en pieds cubiques anglais,

v la vitesse, par heure, en milles anglais,

MM. Gooch et Sewell ont obtenu la relation :

$$R = P\left(6 + \frac{v}{15}\right) + p\left(5 + \frac{v}{2} + 0{,}00004\, Pv^2\right) + 0{,}00002\, Vv^2.$$

La formule de MM. Gooch et Sewell, ramenée au système métrique, devient :

$$R = P(2{,}68 + 0{,}0185\, v) + p(2{,}23 + 0{,}138\, v + 0{,}0000068\, Pv^2) + \\ + 0{,}000124\, Vv^2.$$

c) — *Méthode de* MM. Harding *et* Russel.

En désignant par :

R la résistance du train en palier, en livres anglaises,

P le poids du train en tonnes anglaises, non compris la locomotive,

A la surface frontale du train en pieds carrés anglais,

v la vitesse du train par heure, en milles anglais.

M. Harding est arrivé à la formule :

$$R = P\left(6 + \frac{v}{3}\right) + 0{,}0025\, Av^2.$$

Cette formule de M. Harding est appliquée, en France, sous la forme suivante :

$$r = 2{,}72 + 0{,}094\, v + \frac{0{,}00484\, Av^2}{P},$$

r étant la résistance du train en kilogrammes, par tonne,

V la vitesse en kilomètres, à l'heure,

A la section de face du train ($A = 5$ mètres carrés),

P le poids du train en tonnes.

d) — *Formules de* Haswell *ou de* Clarck.

Soient :

R la résistance du train, en livres anglaises,

P le poids du train, en tonnes anglaises, y compris le poids de la locomotive,

V la vitesse du train, à l'heure, en milles anglais.

La formule de M. Haswell est :

$$R = P\left(8 + \frac{V^2}{171}\right).$$

Rapportée au système métrique, elle devient :

$$R = P(3,5713 + 0,001008\,V^2).$$

e) — *Formule de* M. GROVE.

M. Grove prend pour point de départ la formule de M. Haswell, et arrive aux deux expressions suivantes, correspondant, la première, à des trains pesant plus de 100 tonnes, à une voie bien entretenue, à des courbes de très grand rayon, à des conditions atmosphériques favorables ; la deuxième formule, au contraire, répond à des conditions d'exploitation défavorables.

Si l'on désigne par :

R la résistance du train, en kilogrammes,

V la vitesse du train en mètres, par seconde,

P le poids du train en tonnes, y compris le poids de la locomotive.

M. Grove obtient les deux formules :

1° Conditions d'exploitation favorables :

$$R = P\left(2,25 + \frac{V^2}{80}\right).$$

2° Conditions d'exploitation défavorables :

$$R = P\left(4 + \frac{V^2}{50}\right).$$

FORMULES ALLEMANDES.

---

f) — *Méthode de* M. RUHLMANN.

Si l'on représente par :

R la résistance du train, en kilogrammes,

p le poids de la machine, en tonnes,

A la surface de résistance à l'air,
V la vitesse du train à l'heure, en kilomètres.

On a :

$$R = P(1,8 + 0,1\ V) + p(4,5 + 0,5\ V) + 0,009\ AV^2.$$

g) — *Méthode de M.* Redtenbacher.

La formule de M. Redtenbacher est un peu plus compliquée que celles qui précèdent :

Soient :

R la résistance du train, en kilogrammes,
P le poids du train de véhicules, en tonnes,
p le poids de la locomotive et du tender,
n le nombre des véhicules du train,
a la section de face d'un véhicule, en mètres carrés,
A la section de face du train,
V la vitesse en mètres par seconde.

M. Redtenbacher établit la relation suivante :

$$R = P(3,11 + 0,077\ V) + p(7,25 + 0,577\ V) + 0,0704\ V^2\left(A + \frac{an}{4}\right).$$

h) — *Méthode de M.* Welkner.

Appelons :

R la résistance du train, en livres de deux au kilogramme,
P le poids des wagons, en tonnes,
p le poids de la locomotive et du tender,
V la vitesse à l'heure, en milles géographiques.

M. Welkner donne la formule suivante :

$$R = P\left(7 + \frac{V^2}{10}\right) + p\left(16 + \frac{V^2}{2}\right).$$

En particulier, la résistance due à la machine, sur un palier, est exprimée par M. Welkner suivant que la machine est à roues libres, à deux essieux couplés ou à trois essieux couplés, par les trois formules suivantes :

$$r = p(6 + 0,0044\ V^2),$$
$$r = p(8 + 0,0044\ V^2),$$
$$r = p(12 + 0,0044\ V^2).$$

r étant la résistance de la locomotive,
p le poids de la locomotive, en tonnes,
V la vitesse à l'heure, en kilomètres.

i) — *Formule de* M. Kock.

Si l'on désigne par :

R la résistance totale du train, en kilogrammes,

P le poids du train, en tonnes, non compris la locomotive et le tender,

p le poids d'une machine à trois essieux couplés, en tonnes,

V la vitesse à l'heure, en kilomètres.

M. Koch obtient la valeur suivante de la résistance du train entier, en palier.

$$R = P(1 + 0{,}04\,V) + p(12 + 0{,}0044\,V^2).$$

L'expression de la résistance de la machine est celle admise par M. Welkner. Le premier terme de la parenthèse devient égal à 6, à 8 ou à 18, suivant qu'il s'agira d'une machine à roues libres ou d'une machine à deux essieux couplés ou d'une machine à quatre essieux couplés.

k) — *Formule des chemins de fer du Hanovre.*

Les expériences furent faites avec des trains chargés de houille et circulant à des vitesses variables.

En désignant par :

R la résistance du train entier, en kilogrammes,

P le poids du train, en kilogrammes, y compris le poids de la locomotive.

On a :

Si la vitesse à l'heure varie de $5^{km},5$ à 11 kilomètres :

$$R = \frac{P}{592}.$$

Si la vitesse est comprise entre 34 et 40 kilomètres à l'heure :

$$R = \frac{P}{465}.$$

l) — *Méthode de la compagnie des chemins de fer de Cologne à Minden.*

Les expériences faites par l'administration des chemins de fer de Cologne à Minden, de 1866 à 1869, amenèrent les résultats suivants :

Soient :

R la résistance du train, en kilogrammes,

P le poids du train, en tonnes, non compris la machine et son tender.

On a obtenu :

1° Avec les trains de wagons vides,

a) à la vitesse de 26 kilomètres à l'heure,

$$R = 2,792 P.$$

b) à la vitesse de 40 kilomètres à l'heure,

$$R = 3,816 P.$$

2° Avec des trains de wagons chargés :

a) à la vitesse de 21 kilomètres à l'heure,

$$R = 1,520 P.$$

b) à la vitesse de 39 kilomètres à l'heure,

$$R = 2,189 P.$$

Les expériences ont eu lieu par un temps calme.

FORMULES AUTRICHIENNES.

m) — *Méthode de la compagnie des chemins du Sud de l'Autriche.*

Si l'on désigne par :

R la résistance du train, en kilogrammes,

P le poids du train, en tonnes, non compris la machine et son tender,

la compagnie du Sud autrichien a obtenu les résultats suivants s'appliquant, d'une part aux véhicules à deux essieux, et d'autre part aux véhicules à quatre essieux.

VITESSE A L'HEURE en kilomètres.	VÉHICULES à 4 essieux.	VÉHICULES à 2 essieux.
15 kilomètres	R = 2,25P	R = 2,33P
de 15 à 21 —	R = 2,42P	»
de 21 à 29 —	R = 2,68P	»
de 29 à 36 —	R = 2,92P	R = 2,73P
de 36 à 44 —	R = 3,15P	R = 2,90P
de 44 à 52 —	»	R = 3,21P

Ces résultats correspondent à des expériences faites par un temps calme.

n) — *Formules de la Société autrichienne.*

L'auteur de ces formules, M. Fink, ancien inspecteur principal du matériel et de la traction de la Société autrichienne, distingue deux cas :

1°) Conditions favorables :

Pas ou peu de courbes de rayon inférieur à 500 mètres, vent faible, température supérieure à 5°, graissage à l'huile, charge supérieure à 100 tonnes brutes.

$$r = 2,5 + 0,001\,V^2.$$

2°) Conditions défavorables :

Nombreuses courbes de rayon inférieur à 500 mètres, vent fort, température inférieure à 5°, emploi de la graisse, charge inférieure à 100 tonnes brutes.

$$r = 3,75 + 0,0015\,V^2.$$

FORMULES FRANÇAISES.

o) — *Méthode de* MM. Vuillemin, Guébhard *et* Dieudonné.

Ces ingénieurs de la compagnie de l'Est ont classé les résultats qu'ils ont obtenus en deux groupes.

Désignons par :

r la résistance, en kilogrammes, par tonne de train,
V la vitesse à l'heure, en kilomètres,
S la section de face du train (S = 5 mètres carrés),
P le poids du train, en tonnes.

1er *groupe*. — Trains de marchandises; vitesse de 12 à 32 kilomètres à l'heure; courbes de grand rayon; palier; beau temps; température avoisinant 15°.

a) pour les trains lubréfiés à l'huile :

$$r = 1,65 + 0,05\,V.$$

b) pour les trains lubréfiés à la graisse :

$$r = 2,30 + 0,05\,V.$$

2e *groupe*. — Trains de toute nature; vitesse supérieure à 32 kilomètres; courbes de grand rayon; palier.

c) vitesse de 32 à 50 kilomètres à l'heure :

$$r = 1{,}80 + 0{,}08\,V + \frac{0{,}009\,SV^2}{P}.$$

d) vitesse de 50 à 65 kilomètres :

$$r = 1{,}80 + 0{,}08\,V + \frac{0{,}006\,SV^2}{P}.$$

e) vitesse de 70 kilomètres et au-dessus :

$$r = 1{,}80 + 0{,}14\,V + \frac{0{,}004\,SV^2}{P}.$$

COMPARAISON DES DIVERSES FORMULES.

Il est intéressant de connaître les résultats numériques que donneront les diverses formules précédentes, en supposant que l'on prenne un train circulant dans des conditions bien définies qui soit le même pour toutes ces formules.

Nous choisirons les deux cas particuliers dans lesquels M. Lindner, s'est également placé pour pouvoir comparer entre eux les résultats des diverses formules.

Nous prendrons un train de marchandises et un train de voyageurs déterminés comme il suit :

1° *Train de marchandises.* — Poids du train non compris la locomotive et le tender : 300 tonnes à 1000 kilogr., ou 295 tonnes anglaises.

Poids du tender : 12 tonnes.

Poids de la machine : 30 tonnes à 1000 kilogr., ou 29 tonnes anglaises.

Vitesse : 30 kilomètres à l'heure, ou 18,6 milles anglais, ou 3,9 milles géographiques, ou 8,3 mètres par seconde.

Nombre des véhicules : 20.

Section de face du train ou d'un wagon : 5 mètres carrés, ou 54 pieds carrés anglais.

Volume du train : 600 mètres cubes.

Nombre des essieux moteurs : 2.

2° *Train de voyageurs.* — Poids des voitures non compris la locomotive et le tender : 50 tonnes à 1000 kilog., ou 49 tonnes anglaises.

Poids de la machine : 30 tonnes à 1000 kilog., ou 29 tonnes anglaises.

Poids du tender : 12 tonnes.

Vitesse : 70 kilomètres à l'heure, ou 43,4 milles anglais, ou 9,1 milles grographiques, ou 19,4 mètres par seconde.

Nombre des voitures : 6.

Section de face des voitures ou du train : 5 mètres carrés, ou 54 pieds carrés anglais.

Volume du train : 180 mètres cubes.

Nombre d'essieux moteurs : 1.

En appliquant chacune des formules précédentes au calcul de la résistance des deux trains ainsi définis, on trouve les résistances totales de ces trains et les résistances par tonne de train consignées dans le tableau suivant :

FORMULE.	TRAIN de petite vitesse.		TRAIN de grande vitesse		OBSERVATIONS.
	résistance totale du train R	résistance par tonne de train $\frac{R}{P}$	résistance totale du train R	résistance par tonne de train $\frac{R}{P}$	
	kilog.	kilog.	kilog.	kilog.	
mbour	1327	3,878	542	5,88	P poids du train y compris la machine.
rding	1652	5,508	934	19,08	P poids du train et du tender dans la machine.
och	1389	4,061	1384	15,01	P poids du train entier y compris la machine et le tender.
dtenbacher	1776	5,192	1236	13,43	
ehlmann	1943	5,678	1531	16,64	
rk-Haswell	1526	4,463	793	8,61	
ove (conditions favorables)	1064	3,111	640	6,95	
— (conditions défavorables)	1836	5,378	1060	11,53	
elkner	1774	5,187	1087	11,82	
novre 1860	736	2,151	»	»	
illemin (graissage à l'huile)	945	3,150	678	13,56	
— (graissage à la graisse)	1140	3,800			
d autrichien	819	2,730	»	»	P ne comprend pas la machine ni le tender.
ciété autrichienne :					
Conditions favorables	»	3,400	»	7,40	
Conditions défavorables	»	5,100	»	11,10	
logne à Minden	615	2,050	»	»	
ch	1162	3,397	1347	14,61	P poids du train entier avec tender et machine.

Ce tableau comparatif montre que les résultats donnés par les formules anciennes sont plus forts que ceux des formules établies plus récemment.

Il résulte encore de ce tableau que les expressions de R et de $\frac{R}{P}$ n'ont pas la même acception dans les diverses formules, puisque

tantôt R et P s'appliquent au train entier y compris la machine et le tender, tantôt seulement au train de véhicules; il est rationnel de ne comparer entre eux que les résultats des formules dans lesquelles R et P sont pris avec la même définition.

ANNEXE B.

Formules de la résistance due aux courbes.

MÉTHODES ANGLAISES.

a) — *Formules anglaises.*

Les ingénieurs anglais convertissent la résistance en courbe en une résistance équivalente sur une rampe et se servent de la formule

$$I = \frac{1}{n}$$

pour calculer cette rampe équivalente, au point de vue de la résistance, à une courbe de n yards de rayon,

La yard est égale à $0^m,914$.

$\frac{1}{n}$ est la rampe dont la résistance est équivalente à celle opposée par la courbe.

Une autre formule est usitée, en Angleterre, pour les voitures à voyageurs :

$$R = \frac{1,4}{r}.$$

R exprime la résistance, par tonne, en livres.
r est le rayon en milles anglais de 1610 mètres.

En Amérique, on a obtenu l'expression suivante :

$$R = \frac{0,578}{r}.$$

R et r ayant la même signification que dans la formule précédente. La différence considérable qui existe entre les coefficients de ces deux expressions de la résistance d'une courbe, provient de la différence du matériel roulant employé dans les deux pays.

b) — *Formule de* M. HASWELL.

Appelons

R_1 la résistance dans une courbe,
R la résistance en palier,
α l'angle au centre correspondant à la longueur du train.

D'après M. Haswell, on aura

$$R_1 = \frac{\alpha}{10} R.$$

Si L est la longueur du train, on obtient :

$$\alpha \frac{2\pi r}{360} = L,$$

r étant le rayon de la courbe.

M. Haswell a en outre calculé R d'après la formule que nous avons déjà donnée à l'annexe A.

$$R = P(3,5713 + 0,001008\, V^2),$$

dans laquelle P représente le poids du train, en tonnes, R la résistance, en kilogrammes, et V la vitesse à l'heure, en kilomètres.

On a donc, pour la résistance, en courbe l'expression

$$R_1 = \frac{0,573}{r} LP(3,5713 + 0,001008\, V^2).$$

Si V = 30 kilomètres, on a

$$\frac{R_1}{P} = \frac{0,00256}{r} L.$$

M. Haswell a basé sa formule sur des résultats d'expériences faites avec le matériel américain. Ces résultats ne sauraient s'appliquer au matériel français qui donne lieu à des résistances dans les courbes de beaucoup supérieures à celles du matériel américain.

FORMULES ALLEMANDES.

---

c) — *Méthode du Brunswick.*

Soit ρ le rayon de la courbe en *ruthen* du Brunswick. La ruthe est égale à $4^m,57$. Les ingénieurs allemands calculent souvent la résistance due à une courbe de rayon ρ, en cherchant la résis-

tance sur une rampe équivalente. Cette rampe d'une résistance égale à celle d'une courbe de rayon ρ est

$$I = \frac{1}{6\rho}.$$

Cette formule ramenée au système métrique donne, si r est le rayon de la courbe en mètres,

$$I = \frac{0,76}{r},$$

d) — *Méthode de M.* Roeckl.

Nous avons déjà parlé de la méthode expérimentale employée par M. Roeckl pour déterminer la résistance due aux courbes.

Il admet, au point de vue de la résistance, l'équivalence entre la résistance des courbes et celle des rampes qui suivent :

Rayon des courbes.	Rampes équivalentes.
mèt.	millim.
300	6,25
360	5,30
450	3,57
540	2,40
600	1,43
au delà de 750	0,00

M. Roeckl, aujourd'hui directeur de la construction des chemins de fer de l'État de Bavière, a entrepris, en 1877 et 1878, de nouvelles et nombreuses expériences pour déterminer la résistance des trains dans les courbes. Les résultats de ces expériences n'ont pas encore été publiés. Néanmoins nous trouvons dans le journal de l'Union des chemins allemands (*Zeitung des Vereins deutscher Eisenbahnen*), n° 40, du 28 mai 1880, une analyse des travaux de M. Roeckl, publiée par *M. de Weber*.

La résistante additionnelle due aux courbes a, d'après les nouvelles expériences de M. Roeckl, pour expression

$$W = \frac{0,6504}{R - 55}.$$

R étant le rayon de la courbe en mètres.

M. Roeckl arrive aux deux formules suivantes pour l'expression de la résistance totale sur une section en courbe :

1°) *Train de véhicules :*

$$W + \rho = \frac{0,6504}{R - 55} + 0,0025 + 0,000000021 v^2;$$

2°) *Locomotive :*

$$W + \rho = \frac{0{,}6504}{R - 55} + 0{,}0050 + 0{,}000\,000\,21 v^2.$$

v étant la vitesse, en kilomètre, par heure.

Écartement des essieux $3^m,7$ à $4^m,1$.

e) — *Formule de* M. DE BAUERNFEIND.

M. de Bauernfeind a établi la formule théorique suivante pour calculer la résistance due aux courbes.

Soient :
r le rayon de la courbe, en pieds bavarois,
e la largeur de la voie, en pieds bavarois,
M la charge, en tonnes,
a l'écartement des essieux,
f le coefficent du frottement de glissement,

$$\left(f = \frac{1}{10}\right);$$

on a, d'après M. Bauernfeind,

$$R = 2240 f M \frac{a + e}{r},$$

R étant exprimé en livres.

f) — *Méthode de* M. REDTENBACHER

Si l'on désigne par
f le coefficient de frottement de glissement des bandages sur les rails,
l l'écartement des essieux,
b l'écartement de la voie,
ρ le rayon de la courbe,
Q le poids du wagon,

M. Redtenbacher exprime la résistance théorique du wagon dans la courbe par la formule

$$R = f Q \frac{\frac{b}{2} + \frac{l}{2}}{\rho}.$$

g) — *Résultats obtenus par* M. BOEDECKER.

En admettant
1° que la conicité des bandages soit de $\frac{1}{20}$;

2° que le jeu entre le boudin de la roue et le rail soit compris entre 10 et 25 millimètres;

3° que le coefficient de frottement du bandage sur le rail soit de $\frac{1}{4}$, M. Boedecker détermine, pour les écartements d'essieux de 3 et 3m,85, l'inclinaison de la rampe d'une résistance égale à celle d'une courbe de rayon déterminé. Nous donnons dans le tableau suivant les résultats obtenus par M. Boedecker.

RAYON.	RAMPE ÉQUIVALENTE A LA COURBE.	
	Écartement d'essieux, 3 mètres.	Écartement d'essieux, 3m,85.
mètres.	millimètres.	millimètres.
300	2,60	3,05
350	2,19	2,60
400	1,90	2,26
450	1,67	1,99
500	1,33	1,63
550	1,20	1,47
600	1,12	1,36
650	0,89	1,13
700	0,83	1,05
750	0,77	0,98
800	0,72	0,92
900	0,64	0,81
1000	0,38	0,72
1100	0,37	0,65
1200	0,37	0,48
1300	0,36	0,45
1400	0,35	0,42
1600	0,28	0,35
2000	0,26	0,31
2400	0,19	0,28

L'écartement des essieux exerce une influence très sensible sur la résistance due aux courbes.

h) — *Expériences faites sur le Semmering* (*chemins du Sud de l'Autriche*).

Les expériences faites sur le Semmering par la compagnie des chemins de fer du Sud de l'Autriche, ont permis de mesurer l'influence de la longueur des trains sur la résistance due aux courbes.

Les expériences ont eu lieu à la vitesse de 15 kilomètres avec des trains longs et courts, *de même poids*, dans les courbes du Semmering. Voici les chiffres obtenus pour l'augmentation de résistance, par tonne, due aux courbes :

RAYON.	TRAIN de 26 wagons. 198t,7.	TRAIN de 13 wagons. 196t,5.
mètres.	kilog.	kilog.
189	3,58	3,08
265	2,57	2,32
284	2,57	2,22

En doublant le nombre des wagons, la résistance due aux courbes, par tonne, a augmenté, le poids total du train restant toujours le même.

FORMULES FRANÇAISES.

Les formules théoriques de l'expression de la résistance des courbes sont assez nombreuses en France ; il n'en est pas de même des formules expérimentales. Parmi les formules théoriques nous indiquerons pour mémoire :

1° Celle de Navier, *Annales des Ponts et Chaussées*, 1834, 2e semestre ;

2° Celle de Dupuis, *Annales des Ponts et Chaussées*, 1838, 1er semestre.

3° Celles contenues dans le traité de Fèvre, *sur le mouvement de translation des locomotives*, 1844.

Nous mentionnerons seulement parmi les méthodes théoriques celles de MM. Perdonnet, Reynard et Bordas.

1) — *Formule de* M. Perdonnet.

Soient :

f_1 le coefficient de frottement du boudin sur le rail,
f_2 le coefficient de frottement de la roue sur le rail,
P le poids du wagon et de son chargement, en kilogrammes,
p le poids des roues et des essieux, en kilogrammes,
b l'écartement de la voie, en mètres,
e l'écartement des essieux,
r le rayon de la courbe,
v la vitesse du train à l'heure en kilomètres,
R le rayon des roues en mètres,
h la hauteur du boudin en mètres,

On a, d'après M. Perdonnet,

$$R_1 = f_1(P+p)\frac{\sqrt{\left(\frac{b}{2}\right)^2+\left(\frac{e}{2}\right)^2}}{r} + f_2\frac{(P+p)v}{grR}\sqrt{2Rh+h^2}.$$

j) — *Méthode de* M. Reynard.

Désignons par

T la résistance totale en courbe,

φ le coefficient de résistance au mouvement du wagon en alignement droit horizontal,

P le poids du wagon et de sa charge,

f le coefficient de frottement de la jante sur le rail,

f' le coefficient de frottement du rebord sur le rail,

R le rayon de la courbe mesurée sur l'axe du chemin,

$\frac{1}{m}$ l'inclinaison du rebord sur la jante, ou le rapport du rayon de la roue au rayon de courbure de la section du rebord par un plan tangent à la jante,

l et λ la moitié des distances de la projection horizontale du centre de rotation et de glissement du wagon, aux sommets des projections horizontales des angles du wagon dirigés ver l'extérieur de la courbe.

M. Reynard arrive à l'expression

$$T = P\left[\varphi + (f+mff')\frac{\lambda+l}{R}\right],$$

$mff'\frac{\lambda l}{R}$ représente la résistance due au frottement du rebord (voi *Annales des Ponts et Chaussées*, 1833, 1er semestre).

k) — *Méthode de* M. Bordas.

M. Bordas arrive (*Annales des Ponts et Chaussées*, 1858, 1er semestre) à la formule

$$T-\varphi R = \frac{1}{4}fP\left(\frac{c}{R}+\sqrt{\frac{c^2}{R^2}+\frac{4a^2}{R^2}}\right) + \\ + f'\frac{P}{g}\frac{V^2}{R}\sqrt{\left(\frac{\varepsilon}{r}+\frac{2a}{R}\right)^2+\left(\frac{1}{\sin\mu}\frac{c}{R}\right)^2}.$$

T — φR est l'augmentation de résistance due à la courbe pour un véhicule à quatre roues et essieux parallèles,

φR est la résistance en alignement droit et de niveau,

c le demi-écartement des essieux,

$2a$ la largeur de la voie d'axe en axe,

ε la hauteur du point de contact du rebord en contre-bas du plan supérieur du rail,

tang μ l'inclinaison des génératrices du rebord conique sur le plan de la roue,

r le rayon de la roue,

R le rayon de la courbe dans l'axe de la voie,

V la vitesse,

P le poids du véhicule et de son chargement.

Dans le cas d'un véhicule à six roues, M. Bordas obtient une formule différente.

l) — *Expériences de* M. Camille Polonceau (*).

Les résultats des expériences faites par M. Camille Polonceau à la compagnie d'Orléans l'ont amené à admettre que la résistance des courbes donne lieu à des suppléments d'efforts consignés ci-après :

Rayon des courbes.	Supplément d'effort par tonne.
mèt.	kilog.
300	3,90
400	3,30
500	2,75
1000	0,75

m) — *Expériences de* M. Forquenot (**).

M. Forquenot, ingénieur en chef du matériel et de la traction de la compagnie d'Orléans, a continué les expériences de M. Cam. Polonceau; il est arrivé aux chiffres suivants :

Rayon des courbes.	Supplément d'effort par tonne.
mèt.	kilog.
300	3,90
500	1,40
1000	0,32

Les expériences de M. Forquenot donnent pour des courbes de rayon supérieur à 300 mètres des résistances plus faibles que celles indiquées par M. C. Polonceau.

n) — *Expériences de* MM. Vuillemin, Guébhard *et* Dieudonné.

Avec des trains de voyageurs composés de 10 à 20 voitures, marchant à des vitesses de 35 à 50 kilomètres à l'heure, et sur des sections dont les courbes avaient un rayon minimum de 800 mètres,

(*-**) Sevène, *Cours de chemins de fer professé à l'École des Ponts et Chaussées*, 1876-1877, 3e partie, p. 48.

on n'a constaté aucune influence. A des vitesses supérieures à 50 kilomètres, l'influence se fait sentir; elle a été de 5 p. 100 dans une expérience.

Pour les trains de marchandises, les courbes même de grand rayon ont une influence sensible. MM. Vuillemin, Guébhard et Dieudonné ont été amenés à conclure que si l'on désigne par f le coefficient de résistance, par tonne, en alignement, le coefficient de résistance en courbe sera

Rayon des courbes. mèt.	Coefficient de résistance
1000	$f+1$
800	$f+1,50$

COMPARAISON DES DIVERSES MÉTHODES. — CONCLUSION.

La comparaison des diverses méthodes expérimentales usitées pour l'évaluation de la résistance due aux courbes a déjà été faite dans le cours du mémoire, à l'occasion de la détermination du coefficent β. Nous renvoyons donc au tableau comparatif qui se trouve page 521.

On peut conclure de cet exposé des diverses formules et méthodes de calcul de la résistance des courbes que si les formules théoriques sont nombreuses, il n'en est pas ainsi des formules expérimentales; or les formules théoriques ne peuvent pas être utilisées dans dans le problème de science appliquée que nous avons essayé de résoudre. Nous constatons avec regret qu'une bonne formule expérimentale de la résistance des courbes tenant un compte suffisant des principaux éléments de la question n'a pas encore été donnée jusqu'à présent.

OUVRAGES CONSULTÉS.

" Civil Engineer and Architect's Journal. " Volume 1, octobre 1837 à décembre [illegible] pages 378 et suivantes. (The effect of gradients on railways.)

PAMBOUR. — " Traité théorique et pratique des machines locomotives, " 2e édition. Paris, chez Bachelier, 1840, page 268 et suivantes.

GHEGA. — " Virtual-Laengen. " (Vienne, chez Kaulfuss, Prandel et Cie, [illegible].)

A. LINDNER. — " Die Virtuelle Laenge und ihre Anwendung auf Bau und Betrieb der Eisenbahnen ". (Zurich, chez Orell, Fuessli et Cie, 1879).

C. DE FREYCINET. — " Des pentes économiques des chemins de fer. " (Paris, chez Mallet-Bachelier, 1861.)

HEYNE.— " Das Traciren des Eisenbahnen in vier Beispielen, mit einem Anhange." Avec un atlas. (Vienne, 1865.)

" Rapport de la commission technique italienne de 1864 instituée pour l'étude des passages des Alpes helvétiques. " Annexe V, pages 101 et suivantes.

Message du Conseil fédéral suisse à l'Assemblée fédérale (Botschaft betreffend die Taxerhœhung fur Eisenbahnstrecken mit grossen Steigungen) du 11 septembre 1873.

LAUNHARDT. — " Die Betriebskosten der Eisenbahnen, " etc., chez Wilhelm Engelmann, Leipzig, 1877.

CH. GERHARDT. — " De l'influence du profil de la voie sur les dépenses d'exploitation. " (Revue générale des chemins de fer. Octobre 1878).

MENCHE DE LOISNE. — " De l'influence des rampes sur les prix de revient des transports en transit par chemins de fer. " (*Annales des ponts et chaussées*, 1879, 5e série, 9e année, tome XVII).

CLAUDEL. — " Formules, tables et renseignements pratiques. " (Paris, 1858).

KOCH. — " Einfluss des Betriebes auf das Alignement. " (Handbuch des Ingenieurwissenchaften, von Heusinger von Waldeck, 1er volume, Ire partie, page 216. Leipzig, chez Engelmann, 1877).

DE SZABO. — " Bestimmung der wahrscheinlichen Selbstkosten des Betriebes auf Eisenbahnen. " (Organ fur die Fortschritte des Eisenbahnwesens, de Heusinger de Waldeck, 1875, page 121).

STOCKER. — " Zur Frage der virtuellen Laenge. " (Bulletin polytechnique, le chemin de fer, volume X, n° 3, 1879, Zurich).

VUILLEMIN, GUÉBHARD et DIEUDONNÉ. — " Mémoire sur la résistance des trains et la puissance des machines, " publié dans le compte rendu des travaux de la société des Ingénieurs civils, 1867, page 701.

SEVÈNE. — Cours de chemins de fer professé à l'École des Ponts et Chaussées. 1876, 3e partie, page 48.

R. ABT.— " Einfluss starker Steigungen auf den Betrieb. " Bulletin polytechnique, le chemin de fer, vol. II, 26 octobre 1877, N° 17.

CULMANN. — " Die Betriebskosten stark ansteigender Bahnen. " Bulletin polytechnique, le chemin de fer, vol. VII, 9 novembre 1877, N° 19.

A. FLIEGNER. — " Die Bergbahn-Systeme, etc. " (Zurich, chez Orell, 1878.)

Annales des ponts et chaussées.	Année 1834, 2e semestre.
	— 1838, 1er —
	— 1839, 2e —
	— 1843, 2e —
	— 1858, 1er —

" Zeitung der Vereins deutscher Eisenbahn-Verwaltungen. " 1880, N° 40.

TABLE DES MATIÈRES.

INTRODUCTION.

Pages.
§ 1. — Exposé 455

CHAPITRE I.

MÉTHODES DE CALCUL DES LONGUEURS VIRTUELLES.

§ 2. — Diversité des méthodes 459
§ 3. — 1er système : Longueur virtuelle relative au travail mécanique 460
a — Méthode anglaise 460
b — Méthode de Ghéga 462
c — Formule de Claudel 463
d — Méthodes saxonnes et badoise 465
e — Formule de M. Koch 467
f — Méthode de M. Abt 468
g — Formule de M. Lindner 469
h — Formule de M. Stocker 472
i — Comparaison des formules 473

§ 4. — 2e système : Longueur virtuelle relative aux dépenses d'exploitation 474
a — Formule de Minard 475
b — Formule de M. Boeckl 475
c — Formule de M. de Freycinet 477
d — Formule de M. Heyne 480
e — Méthodes italiennes 480
f — Méthode de M. Menche de Loisne 483
g — Formule de M. Culmann 484
h — Méthode de M. de Szabó 485
i — Formules de la compagnie de Paris à Lyon et à la Méditerranée 486
k — Comparaison des formules 488

§ 5. — 3e système : Longueur virtuelle relative à la dépense de transport 489
a — Méthodes suisses 490
b — Formules de M. Launhardt 492
c — Comparaison des formules 496

§ 6. — Résumé 497

CHAPITRE II.

MÉTHODE ABRÉGÉE DE CALCUL DES LONGUEURS VIRTUELLES RELATIVES AU TRAVAIL MÉCANIQUE.

Pages.

§ 7. — **Principes et hypothèses admis dans la méthode** 499

§ 8. — **Formule de la longueur virtuelle** 501

a — Influence de la rampe 503

b — Influence due aux courbes. 511

c — Équation de la longueur virtuelle totale. 516

§ 9. — **Tableau des valeurs de α**. 517

§ 10. — **Tableau des valeurs de β**. 519

CHAPITRE III.

APPLICATION DE LA MÉTHODE A DIVERSES LIGNES DE CHEMINS DE FER.

§ 11. — **Règles à suivre dans l'application de la méthode**. 521

§ 12. — **Calcul de la longueur virtuelle des lignes de Bourges à Montluçon, — de Montluçon à Saint-Sulpice-Laurière et à Aubusson, — de Toulouse à Lexos et à Albi**. . . . 530

§ 13. — **Coefficient virtuel. — Rampe moyenne**. 533

CHAPITRE IV.

RELATION ENTRE LA DÉPENSE D'EXPLOITATION ET LA LONGUEUR VIRTUELLE OU LE COEFFICIENT VIRTUEL.

§ 14. — **Calcul des dépenses d'exploitation par tonne et kilomètre sur les lignes de Bourges à Montluçon, — de Montluçon à Saint-Sulpice-Laurière et à Aubusson, — de Toulouse à Lexos et à Albi**. 536

§ 15. — **Formule de la dépense d'exploitation par tonne et par kilomètre**. 543

§ 16. — **Coefficient virtuel relatif à la dépense d'exploitation par tonne kilométrique**. 548

§ 17. — **Formule de la dépense d'exploitation par kilomètre de ligne**. 551

ANNEXES.

ANNEXE A. — **Formules de la résistance sur une ligne en palier et en alignement droit**. 557

ANNEXE B. — **Formules de la résistance due aux courbes**. 561

N° 33

EXPOSÉ

D'UN

MODE DE NOTATION ET DE REPRÉSENTATION

DES

OBSERVATIONS HYDROMÉTRIQUES

Par M. Charles RITTER, Ingénieur en chef des ponts et chaussées.

La présente note s'adresse plus particulièrement aux ingénieurs qui s'occupent d'études hydrauliques. Elle a pour objet d'indiquer une méthode simple pour juger, sous le rapport de la hauteur, de l'importance relative soit des crues successives d'un même cours d'eau, soit des crues simultanées survenues dans des bassins différents.

Avec cette méthode, il devient facile de représenter sur des cartes d'ensemble l'état de tous les cours d'eau d'un pays à un moment donné et de mettre en évidence, par la comparaison de ces cartes, le mode de composition et de progression des crues.

Notre système de notation de la hauteur des cours d'eau permet enfin de définir, dans une formule précise, l'état hydrométrique d'un cours d'eau à un jour quelconque, de donner, outre l'indication de la hauteur actuelle, le sens et l'importance des variations qu'il est en train ou qu'il est susceptible de subir dans cette hauteur, c'est-à-dire un renseignement qu'il serait essentiel de joindre à tout jaugeage destiné à figurer dans des études d'ensemble.

Les quelques définitions par lesquelles nous commençons notre exposé feront voir que la notation dont nous recom-

mandons l'adoption dans les recherches hydrométriques est, en principe, la même que celle dont on fait usage pour indiquer les hauteurs relatives des marées. Nous chercherons ensuite à montrer les avantages de cette notation par quelques-unes de ses applications les plus intéressantes tant à la coordination générale des observations hydrométriques qu'à la classification méthodique des débits des cours d'eau.

Définitions.

1. *Cote hydrométrique.* — Hauteur d'eau, positive ou négative, comptée à partir du zéro de l'échelle hydrométrique sur laquelle on observe et mesure les variations de niveau de la rivière.

2. *Hydromodule.* — Hauteur maxima des crues connues comptée à partir du plus bas étiage.

EXEMPLES :

	Seine. Pont d'Austerlitz. mètres.	Yonne. Sens. mètres.
K = Cote hydrométrique maxima. . .	6,70	4,35
ε = Cote hydromét. du plus bas étiage.	— 0,30	0,10
μ = K — ε = Hydromodule	7,00	4,25

3. *Cote hydrograde.* — Hauteur d'eau comptée à partir du plus bas étiage et exprimée en centièmes de l'hydromodule.

EXEMPLES :

	Seine. Pont d'Austerlitz. mètres.	Yonne. Sens. mètres.
Maximum de la crue de Novembre 1875 :		
C = Cote hydrométrique.	2,70	3,20
C — ε.	3,00	3,10
$H_g = 100 \frac{C - \varepsilon}{\mu}$ = cote hydrograde . . .	47,1	70,5

4. *Hauteur de crue.* — Hauteur, au moment de son maximum, d'une crue rétrospectivement étudiée; cette hauteur étant comptée à partir du niveau initial du cours d'eau, c'est-à-dire de son niveau à l'origine de la crue.

5. *Cote auxigrade.* — Hauteur, à un moment quelconque, d'une crue et exprimée en centièmes de la hauteur de cette crue.

EXEMPLES :

Saône à Mâcon le 8 août 1875 :

		mètres.
C	= Cote hydrométrique.	3,51
C_m	= Cote hydrométrique du maximum de la crue.	4,10
C_0	= Cote hydrométrique initiale.	0,40
$C_M - C_0$	= hauteur de la crue.	3,70
$A_g = 100 \times \frac{C - C_0}{C_M - C_0}$	= Cote auxigrade.	84,0

Nous soulignons la cote auxigrade lorsqu'elle se rapporte à la phase décroissante de la crue.

6. *Cartes hydrogrades.* — Cartes représentant par l'emploi des cotes hydrogrades :

soit l'importance relative en hauteur d'une crue considérée à un même moment dans diverses localités.

soit le maximum de la hauteur relative qu'une crue déterminée et étudiée rétrospectivement a atteinte dans diverses localités.

7. *Cartes auxigrades.* — Cartes dressées, après qu'une crue s'est accomplie dans sa double phase de croissance et de décroissance, pour indiquer quel était, à un moment donné, le degré d'avancement de la crue dans diverses localités.

Détermination des hydromodules.

8. La détermination numérique des hydromodules des divers cours d'eau suppose une convention préalable. Jusqu'à quelle époque, en effet, fera-t-on remonter la recherche rétrospective des étiages et des crues extrêmes?

Comme cette époque doit être la même pour tous les cours d'eau, nous rejetons les crues extraodinaires survenues à des époques déjà reculées et qui n'ont été repérées qu'en de rares lolalités et nous ne prenons en considéra-

tion que les crues qui ont été observées ou étudiées par les contemporains ou sur lesquelles du moins des enquêtes pourraient au besoin fournir encore aujourd'hui des renseignements complémentaires.

La période à laquelle il nous semble convenable de borner les recherches commencerait avec l'année 1836, depuis laquelle on a enregistré plusieurs crues et étiages exceptionnels.

Que si, sur des cours d'eau, on a repéré des crues supérieures à celles arrivées depuis 1836, ces crues se trouveront, avec la notation hydrograde, représentées par des nombres supérieurs à 100 ce qui, loin d'être un inconvénient, montre au contraire de suite leur caractère exceptionnel.

Nous donnons à la fin de cette note un tableau des hydromodules (μ') et des cotes d'étiage (ε') d'un certain nombre de cours d'eau. Mais nous ferons remarquer que ces hydromodules sont provisoires puisqu'ils sont déduits du maximum et du minimum des cotes hydrométriques publiées au bulletin de l'Association scientifique de France et seulement depuis le 1er janvier 1874; nous dirons aussi que ces cotes étant relevées chaque jour à la même heure ne donnent pas toujours la hauteur maxima des crues.

Nous avons ajouté à ce tableau une colonne des hydromodules définitifs (μ) calculés en nous servant des cotes extraites de l'atlas du service hydrométrique de la France et des dossiers relatifs à l'inondation de 1856. Mais les lacunes de cette colonne sont trop nombreuses encore pour permettre dès aujourd'hui d'en faire usage pour le tracé des cartes hydrogrades pour lesquelles nous avons dû nous contenter des valeurs provisoires (μ'). Nous espérons que les ingénieurs qui s'intéressent à ces recherches s'attacheront, à mesure que l'occasion s'en présentera à recueillir peu à peu, en remontant jusqu'à 1836, les deux constantes μ et ε des cours d'eau qu'ils auront à étudier.

Applications au tracé des cartes hydrométriques.

9. Lorsque, d'après la connaissance des hydromodules et des cotes hydrométriques rélatives à chaque station, on a calculé les cotes hydrogrades ou auxigrades successives ou simultanées de divers cours d'eau en différents points de leur parcours, il devient facile de donner une représentation graphique de l'ensemble de ces renseignements. Il suffit pour cela, et selon l'étude que l'on se propose de faire, d'inscrire sur une carte tantôt les cotes hydrogrades, d'autres fois les cotes auxigrades, puis d'appliquer sur les portions de tous les cours d'eau dont les cotes se rapprochent une même couleur conventionnelle (Pl. 17).

Sur les cartes que nous avons dressées, nous avons laissé sans teinte les portions de cours d'eau dont la hauteur représente moins de 10 hydrogrades et celles dont la cote auxigrade est moindre que 10; et pour les cotes supérieures à 10, nous les avons classées en groupes de 10 à 20, 20 à 30, etc., à chacun desquels est affectée une couleur indiquée à la légende. Toutes nos cartes ont été jusqu'à présent dressées à l'échelle de $\frac{1}{3\,000\,000}$, très suffisante pour le nombre d'observations dout nous disposons; mais nous proposerions de préférence l'adoption de l'échelle de $\frac{1}{2\,000\,000}$ qui a l'avantage d'être celle du tableau d'assemblage de la carte géologique de la France et de la carte hydrographique de M. Delaunay (*).

10. *Cartes hydrogrades de l'importance relative des crues.*

(*) Nous appelons *homohydrogrades, homoauxigrades* les cartes obtenues de la sorte, et nous réservons l'expression d'*isohydrogrades, isoauxigrades* pour les cartes d'un tout autre genre où, ayant à étudier les oscillations de l'eau, non plus le long de simples lignes comme les thalwegs, mais bien dans des nappes liquides plus ou moins étendues, superficielles d'ailleurs ou souterraines, nous réunirons par une même courbe tous les points d'égale cote simultanée, par analogie avec ce qui se fait en topographie et en météorologie.

— Comme exemple de carte hydrograde, nous extrayons le bassin de la Seine d'une carte que nous avons dressée pour la France entière pour la crue de novembre 1875, en nous servant des hydromodules provisoires et des cotes données par le bulletin de l'Association scientifique (Pl. 17, *fig.* 1).

On y remarquera immédiatement les traits bistres et rouges où la crue a eu le plus d'importance.

		COTES hydrogrades.	COTES hydrométriques. mètres.
Bassin de la Seine.	Eure à Louviers.	100,0	1,7
	Epte à Gisors.	100,0	0,5
	Marne à la Chaussée. .	95,5	2,8
	Aire à Vraincourt. . . .	95,2	2,3

La carte complète, que l'espace empêche de reproduire, nous donne en même temps :

Bassin de la Loire.	Mayenne à Laval.	100,0	1,3
	Sarthe au Mans.	100,0	2,4
	Loir à La Flèche.	100,0	1,3
	Loire à Digoin.	96,5	2,8
Rhône.	Arve à Bonneville. . . .	100,0	2,6
Garonne.	Celé à Figeac.	96,5	2,6

Si nous voulons savoir où la crue ne s'est élevée que de 50 à 60 hydrogrades, c'est-à-dire à mi-hauteur environ du maximum des crues, reportons-nous aux lignes vertes de la carte, nous trouvons :

Bassin de la Seine.	Somme-Soude à Conflans.	51,0	1,9
	Cousin à Avallon.	51,2	1,0
	Seine à Mantes	55,5	4,2
	Seine à Montereau. . . .	57,5	2,5
	Loing à Nemours.	57,5	1,1
Bassin de la Loire.	Alllier à Moulins.	50,0	2,1
	Allier à Vichy.	50,0	1,8
	Indre à La Châtre. . . .	52,5	1.4
	Vienne à Limoges	53,0	1,7
Garonne.	Garonne à la Chaum. . .	50,0	1,3
	Dordogne à Espontour. .	50,0	4,1
	Ariége à Foix.	54,0	2,2

11. ***Cartes hydrogrades journalières et annuelles de la hauteur relative des eaux.*** — Si l'on transforme en hydrogrades la cote hydrométrique de chaque jour ou la moyenne de l'année entière, on obtient les éléments d'un autre genre de cartes fort intéressantes pour la comparaison, d'un jour à l'autre, ou d'une année à l'autre, de la hauteur relative des eaux dans les divers bassins. Les cartes annuelles peuvent être complétées utilement par les courbes statistiques annuelles de chaque station, et qui semblables aux courbes statistiques de navigabilité, ont pour ordonnées les cotes hydrogrades et pour abscisses le nombre de jours que chaque cote hydrograde a été observée.

On trouve par exemple, du 1[er] septembre 1872 au 31 août 1873 :

	COTE MOYENNE	
	hydrograde.	hydrométrique mètres.
Seine à Bray.	47,26	1,34
Seine à Montereau.	44,80	1,95
Seine à Gommeville.	30,77	0,38
Seine à Paris.	30,17	2,41
Cousin à Avallon	27,67	0,54

Sans insister davantage, nous faisons seulement remarquer en passant que, excepté pour quelques cours d'eau alimentés par des glaciers, c'est la date du 1[er] septembre qui nous semble convenir davantage pour l'origine de l'année hydrométrique, puisque c'est l'époque habituelle des plus basses eaux et qu'en outre, le régime estival du cours d'eau étant plus influencé par leur régime hivernal que celui-ci ne l'est par les sécheresses de l'été précédent, il y a lieu dans les études annuelles de commencer plutôt par l'automne et l'hiver.

12. ***Cartes auxigrades de croissance et de marche des crues.*** — Nous nous sommes proposé également de représenter jour par jour la situation dans la France entière de la crue de la première quinzaine d'août 1875.

Pour cela, nous avons, à l'aide des cotes hydrométriques, cherché la hauteur de la crue dans chaque localité, puis calculé la cote auxigrade de chaque jour. Ces cotes nous ont, avec les teintes conventionnelles, permis de tracer pour chaque jour une carte dont nous ne donnerons ici que les extraits, pour le bassin du Rhône, relatifs aux 6, 7, 8, 9 et 10 août (*fig.* 2, 3, 4, 5, 6).

Sur les cartes le regard est attiré tout d'abord par les lignes rouges; ce sont les régions où les cotes auxigrades sont comprises entre 80 et 100, celles par conséquent où la crue est près d'atteindre ou a atteint son maximum. Si l'on juxtapose les cartes de plusieurs journées consécutives, on y suit parfaitement de l'œil les déplacements des sommets des ondes torrentielles.

Le 6 août, nous voyons à leur maximum l'Arve et le Rhône entre Bonneville et Seyssel, l'Isère et la Drôme. Le Rhône à Beaucaire n'est pas tracé en rouge, il est vrai, mais sa cote auxigrade est inscrite en rouge et cela signifie, d'après une règle que nous avons adoptée, que, ce jour-là, à Beaucaire, il s'est produit dans le fleuve un maximum qui est dû au passage des eaux de la Durance, mais qui, étant de 70 auxigrades seulement, ne représente que le sommet d'une ondulation secondaire de la crue générale dont le maximum principal à la cote 100 n'est arrivé en effet que le 11 août.

Si nous étudions la carte d'encore plus près, nous y constatons sur le Rhône, en passant de Tournon (16), à Valence (39), un accroissement rapide de la cote auxigrade. Cet accroissement est produit par l'Isère qui en se jetant dans le Rhône y fait commencer la crue du fleuve avant l'arrivée des eaux du Haut-Rhône : même remarque pour les cotes respectives du Rhône à Avignon (23,0) et à Beaucaire (70,0).

Dans la journée du 7, la crue de l'Ain qui est venue se joindre à celle de l'Arve détermine le maximum du Rhône

à Lyon. Cette crue se fait sentir déjà à Valence, mais pas assez cependant pour y effacer l'influence toujours très marquée de l'Isère.

Le 8, nous retrouvons à Givors le maximum de la crue de l'Ain : à Valence, influence toujours très apparente de l'Isère. D'un autre côté, la crue combinée de la haute Saône et du Doubs parvient jusque près de Châlon.

Sur la carte du 9 août, une ligne rouge continue descend depuis le Doubs jusqu'à la Durance : la crue est à son maximum sur la Saône depuis Châlon jusqu'à Lyon et sur le Rhône depuis Tournon jusqu'à Avignon.

Si nous passons au 10 août, la crue de l'Ain et de l'Arve atteint et dépasse Avignon. L'intérêt se reporte surtout du côté de la Saône : arrivée dès la veille à Lyon où le Rhône est déjà depuis trois jours en décroissance, la Saône se déverse, comme elle continuera de le faire les jours suivants, dans le fleuve, mais sans y produire autre chose qu'un simple retard dans le mouvement de baisse que son apport est impuissant à compenser ; de sorte que, sur les cartes postérieures au 10 août, cette crue de la Saône ne se manifeste à l'aval de Lyon par l'apparition d'aucun maximum, d'aucun sommet d'onde secondaire dans le Rhône.

13. *Mode d'interpolation pour le tracé des cartes hydrogrades.* — Sur les cartes hydrogrades nous maintenons la même cote sur toute la portion d'un cours d'eau comprise entre deux affluents de quelque importance ; c'est-à-dire qu'en principe, c'est à la rencontre de chaque affluent que les couleurs changent brusquement comme les débits et sans dégradation successive.

14. *Interpolation sur les cartes auxigrades.* — Le changement rapide de cote par lequel nous avons vu se traduire à certains jours sur nos cartes auxigrades l'influence de la crue d'un affluent nous conduit à signaler une difficulté qui se présente dans le tracé de ces cartes. Il s'agit du choix des cotes à adopter au voisinage des confluents et qui,

comme nous allons l'expliquer, ne doivent pas être toujours les cotes telles qu'elles sont fournies par l'observation.

Il arrive, en effet, fort souvent que de deux cours d'eau qui se jettent l'un dans l'autre, un seul éprouve une crue et néanmoins, dans celui des deux dont le débit n'a pas varié, les eaux par un simple effet de remous s'élèvent jnsqu'à une certaine distance du confluent. Évidemment les cotes hydrométriques dues uniquement à un pareil gonflement provenant de l'aval sont à rejeter pour le calcul des cotes auxigrades du second cours d'eau : car, ce que nous nous proposons de représenter sur nos cartes, ce sont les variations de niveau occasionnées sur chacun des deux cours d'eau par les crues qui lui sont propres et telles qu'on les observerait par exemple si chacun d'eux ne déversait ses crues dans leur lit commun d'aval que par quelque cataracte assez prononcée pour s'opposer à toute propagation du remous vers l'amont. Or, c'est là une circonstance qui ne se rencontre guère qu'en pays de montagnes; partout ailleurs, les chiffres bruts fournis par l'observation exigent donc une correction et c'est pour échapper à la difficulté que nous avons été conduit à ne prendre en considération que des observations faites dans des stations assez éloignées du confluent pour échapper au remous et qui, bien entendu, n'en soient séparées par aucun affluent de quelque importance relative. Nous supposons, en conséquence, que la cote auxigrade de la station d'amont se maintient la même jusqu'au confluent et si nous commettons de la sorte une erreur qui sera en plus si le cours d'eau est en croissance, en moins s'il est en décroissance, nous savons toutefois que, quand les stations ne sont pas trop éloignées, l'erreur ne sera pas assez considérable pour voiler les faits essentiels que nos cartes cherchent à mettre en évidence.

Ainsi, à Lyon, nous possédons les observations hydrométriques faites au pont de la Mulatière, soit au confluent de la Saône et du Rhône; puis, au pont de la Feuillée sur

la Saône et au pont Morand sur le Rhône; le premier à $4^{kil},2$ et le second à $4^{kil},5$ de la Mulatière : nous avons également celles de la Saône à Neuville à 20 kilomètres et celles du Rhône aux Logettes à 35 kilomètres environ à l'amont de Lyon. Or, si l'on consulte le tableau des cotes auxigrades de ces cinq stations que nous avons calculées pour la crue du mois d'août 1875, on voit que les cotes du pont de la Feuillée ne peuvent, à cause du voisinage du Rhône, indiquer la marche de la crue de la Saône.

Cotes auxigrades.

DATES.	LES LOYETTES.	PONT Morand.	MULATIÈRE.	PONT de Feuillée.	NEUVILLE.
5 août.	37,5	5,2	13,8	»	»
6 —	62,5	50,0	46,8	34,0	»
7 —	100,0	100,0	87,8	71,0	21,4
8 —	92,0	92,0	100,0	94,5	64,0
9 —	58,5	55,0	87,0	100,0	100,0
10 —	37,5	31,5	72,0	92,0	100,0
11 —	29,0	23,8	65,5	84,0	96,0
12 —	21,0	15,8	54,0	71,0	78,0

Dans la phase de croissance de la Saône où elles devraient être au plus égales aux cotes auxigrades de Neuville où la crue arrive plus tôt qu'à Lyon, elles sont notablement plus grandes pour devenir plus petites après le 9 par suite de la décroissance rapide du Rhône et de l'abaissement local qui en résulte dans la Saône à Lyon. C'est par ces raisons que nous avons rejeté de nos cartes les cotes du pont de la Feuillée et admis jusqu'à la Mulatière à Lyon les cotes de Neuville. Nous avons conservé au contraire les observations du pont Morand qui, en raison de la forte pente du Rhône, semblent échapper, du moins pour la crue étudiée, à l'influence perturbatrice de la Saône.

Application à la classification hydrograde des débits des cours d'eau.

15. Nous exprimions en commençant le vœu que toute

mention de débit fût complétée, lorsqu'il est possible, par l'indication de la cote hydrograde correspondante et même par celle de la cote auxigrade. C'est le moyen de donner à chaque résultat de jaugeage une signification plus précise, et de lui ajouter en dehors de son utilité locale et pratique une valeur en quelque sorte d'ordre général et scientifique.

Que l'on connaisse, en effet, pour un cours d'eau deux valeurs Q_m et Q_n de son débit par seconde et les cotes hydrogrades correspondantes H_m et H_n et de suite on pourra se faire une idée de son débit pour une cote supérieure H_p, en calculant l'expression

$$Q_n + \frac{H_p - H_n}{H_n - H_m}(Q_n - Q_m).$$

On aura une limite généralement inférieure au débit des grandes crues en faisant $H_p = 100$, dans l'hypothèse toutefois que les débouchés croissent au moins en proportion des profondeurs.

Mais les cotes hydrogrades trouvent une autre application dans le classement méthodique des débits, comme on en jugera par le tableau suivant que nous avons adopté et dans lequel nous trouvons une place pour chacun de ces nombreux jaugeages auxquels donnent lieu les règlements d'usines et dont les résultats restent ignorés ou oubliés dans les archives des services hydrauliques.

Débits par seconde en mètres cubes correspondants aux cotes hydrogrades suivantes :

COURS d'eau.	COTE d'étiage. ε	HYDRO-MODULE. μ	DÉBITS PAR SECONDE EN MÈTRES CUB[ES] correspondants aux cotes hydrogrades suiv[antes]										
			0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	[illegible]
SEINE.	mèt.	mèt.											
Paris, pont d'Austerlitz	—0,30	7,00	50	»	»	»	»	870	1010	1190	1825	[illegible]	[illegible]
Mantes	—0,15	7,84	»	140	290	460	630	860	1060	»	»	»	»
DROME.													
Crest	0	4,30	»	60	160	285	»	620	»	1020	1230	[illegible]	[illegible]

Pour chaque cours d'eau, une ligne horizontale est affectée à chaque série de jaugeages, en ayant soin de grouper dans une même série tous les jaugeages qui bien qu'effectués en des points divers peuvent être considérés cependant comme ayant pour objet commun de trouver les débits correspondants aux différentes cotes d'une seule et même échelle hydrométrique.

Quant aux colonnes verticales dont nous ne reproduisons que les plus essentielles, elles indiquent la cote hydrométrique du bas étiage (ε) depuis 1836, enfin son hydromodule (μ); puis viennent des colonnes destinées à recevoir les débits correspondants aux cotes hydrogrades variant de 10 en 10.

Mais il arrive rarement que des jaugeages répondent exactement aux cotes placées en tête des colonnes et il y a nécessité, pour remplir le tableau, de recourir à l'interpolation. La règle que nous adoptons en pareil cas est de ne faire d'interpolation qu'entre deux débits fournis par des jaugeages directs, et sous la condition encore que les cotes hydrogrades correspondantes à ces deux débits ne diffèrent pas de plus de 10 hydrogrades.

Nous admettons toutefois une exception à cette règle pour les débits d'étiage. Sur les cours d'eau utilisés complètement par les usines, si l'on connaît déja leur débit en eaux ordinaires, nous en concluons le débit d'étiage en réduisant le débit connu dans la proportion inverse des chutes et en proportion directe des quantités de travail industriel de même nature effectué par 24 heures dans les deux cas.

Le tableau obtenu de cette façon et qui est plutôt une table qu'un registre nous donne, on le voit, suivant chaque colonne verticale, les débits de tous les cours d'eau correspondant à une même cote hydrograde et, suivant chaque ligne horizontale, les ordonnées pour chaque cours d'eau de la courbe des débits en fonction des cotes hydrogrades.

La connaissance de l'hydrodomule et de la cote hydrométrique d'étiage permet de reconstituer la cote hydrométrique relative à chaque débit.

Il est presque inutile de dire ici que tous ces nombres inscrits au tableau ne sont, comme ceux du reste que l'on obtient directement par des jaugeages, que de simples approximations, non pas seulement à cause de l'imperfection des procédés de jaugeage, mais aussi parce que, très certainement, à égalité de cote hydrométrique, le débit d'un cours d'eau change selon le degré de crue, selon que les eaux sont en croissance ou en décroissance, suivant aussi que leur hauteur résulte du passage d'une crue simple ou, ce qui est très différent, de la superposition et de la composition de diverses ondes torrentielles affluentes. Il y a là des causes d'inexactitude qu'il ne faut jamais perdre de vue, mais dont heureusement il n'y a pas à tenir compte pour les besoins habituels de la pratique où l'on se contente de résultats moyens et d'une approximation qui soit simplement du même ordre que celle des autres éléments et méthodes de calcul auxquels on recourt dans les problèmes de direction et d'aménagement des eaux.

Nous serons heureux si, par les exemples que nous venons de donner de leurs applications, nous avons mis assez en évidence les avantages de l'adoption des cotes hydrogrades et auxigrades pour que les ingénieurs qui s'occupent du régime des cours d'eau introduisent dans leurs services cette notation nouvelle concurremment avec les cotes hydrométriques ordinaires.

Si, pour chaque bassin, on tenait à jour un atlas de cartes hydrométriques dressées d'après une règle uniforme, les quatre ou cinq feuilles venues des diverses régions de la France donneraient immédiatement par leur assemblage la carte hydrométrique de la France entière à un moment

quelconque de l'une de ces grandes crues malheureusement si fréquentes et dont il y aurait intérêt à multiplier les monographies. Ces atlas rendraient des plus aisées les comparaisons entre les diverses crues; ils mettraient immédiatement en évidence le rôle de chaque affluent dans la formation de l'onde torrentielle complexe des grands cours d'eau. Enfin ils constitueraient certainement pour la météorologie un recueil des plus précieux puisque les cours d'eau, par leurs variations incessantes de hauteur et de débit, sont peut-être la manifestation la plus simple à la fois et la plus facile à mesurer de l'ensemble des conditions et des phénomènes atmosphériques.

Ce que nous venons d'exposer n'est du reste, on le comprend, qu'une application particulière d'un procédé général qui permet d'apprécier, notamment en météorologie, l'importance relative en une ou plusieurs localités des variations simultanées ou successives d'un même phénomène.

Nous en dirons autant du mode de représentation graphique dont nous faisons usage. Il est naturellement susceptible d'extension à toute espèce de cartes statistiques. Outre que de simples lignes de couleurs différentes frappent bien plus l'attention que des largeurs proportionnelles aux nombres à représenter, les lignes ont cet autre avantage de ne pas surcharger les cartes et de permettre de les dresser à plus petite échelle, surtout si l'on a soin sur ces cartes de n'inscrire que les cotes immédiatement intéressantes. Ce sont ces cotes, disposées suivant leur ordre numérique dans un répertoire, qui servent ensuite à retrouver facilement et le nom des localités auxquelles elles s'appliquent et tous autres renseignements spéciaux qu'il peut être utile de connaître.

Paris, 16 juillet 1879.

Tableau des cotes du plus bas étiage (ε') et des hydromodules (μ et d'un certain nombre de cours d'eau.

Les nombres μ de la 3ᵉ colonne ont été déterminés, sauf révision, en remontant jusqu'à 1836.

Les nombres ε′ et μ′ de la 1ʳᵉ et de la 2ᵉ colonne ne se rapportent qu'à la période commençant en 1874. C'est d'après ces nombres qu'ont été calculées les cotes hydrogrades de nos cartes.

COURS D'EAU.	LOCALITÉS.	ε'	μ'	μ
SEINE	Mantes	—0,15	7,84	7,84
	Poissy	—0,68	7,23	7,23
	Pont d'Austerlitz	—0,30	7,00	7,00
	Montereau	0	4,35	4,68
	Bray	0	2,85	3,13
	Gomméville	0	1,25	1,82
Ource	Autricourt	0,08	1,24	1,36
Eure	Louviers	0,29	1,41	3,04
Epte	Gisors	—0,25	1,75	2,25
Oise	Venette	0,20	5,33	6,30
	Hirson	0,23	2,57	»
Aisne	Pontavert	0,25	3,27	8,54
	Sainte-Menehould	0	2,50	»
Aire	Vraincourt	0,25	2,15	2,85
Marne	Chalifert	—0,22	4,64	4,70
	La Chaussée	—0,47	3,42	4,35
	Saint-Dizier	0,14	3,80	3,86
	Chaumont	0,10	1,40	1,84
Grand-Morin	Pommeuse	0,30	2,60	»
Somme-Soude	Conflans	0,27	1,23	»
Ornain	Fains	—0,16	1,56	2,10
	Ligny	0	1,00	»
Saulx	Saudrupt	0,14	1,71	2,12
Loing	Nemours	0,15	1,65	2,5
Yonne	Sens	0,10	4,25	4,25
	Clamecy	—0,06	2,16	3,80
Armançon	Aisy	0	2,00	3,95
Brenne	Montbard	0	2,53	3,02
Serein	L'Isle	0	2,50	3,90
Cure	Saint-Père	0,20	2,05	3,25
Cousin	Avallon	0	1,94	3,40
Aube	Bar	0	1,38	1,58
RHONE	Beaucaire	0,60	5,00	8,14
	Avignon	—0,80	7,00	8,95
	Pont-Saint-Esprit	0	6,10	6,77
	Valence	0	6,00	7,00
	Tournon	—0,30	6,00	6,43
	Givors	—0,40	7,10	7,10
	Lyon	0	4,70	6,40
	Loyettes	0,40	4,00	5,72
	Sault	0,20	3,50	5,05
	Seyssel	0,60	3,30	4,95

Tableau des cotes du plus bas étiage (ε') et des hydromodules (μ et μ') d'un certain nombre de cours d'eau [suite].

COURS D'EAU.	LOCALITÉS.	ε'.	μ'	μ
Lac Léman. . .	Evian.	0	1,75	1,83
Durance.	Bompas.	0,30	1,70	5,00
	Pertuis	0,20	2,20	»
Ardèche	Pont-Saint-Just	0	»	4,90
Drôme	Crest	0	»	4,30
Isère	Saint-Romans	0	»	5,60
	Grenoble	0	»	4,00
Saône.	Lyon.	0	5,40	10,59
	Neuville.	0,40	5,40	»
	Trévoux.	0,60	5,20	7,81
	Mâcon.	0,50	5,90	7,55
	Châlon	—1,00	7,00	7,29
	Verdun	—0,50	7,10	8,50
	St-Jean-de-Losne.	0,70	3,40	3,89
	Heuilley.	0,40	4,20	4,70
Azergues.	Morancé	»	»	»
Doubs.	Navilly	0,20	5,50	»
Ain	Chazey.	0	4,70	5,10
	Pont d'Ain.	0	3,30	4,75
	Merloz	0,10	6,00	6,30
Arve	Bonneville	»	2,65	»
GARONNE . . .	Col-de-Fer.	0,30	11,40	»
	Agen	0	11,70	11,70
	Toulouse	0,10	9,40	9,40
	Cazères.	—0,50	8,10	»
	Montrejeau.	0	3,30	»
	Chaum	0	2,60	4,00
Salat.	Saint-Girons.	0	5,50	»
Dordogne. . . .	Beaulieu	0	5,90	»
	Argentat	0	5,70	»
	Espontour.	0,20	7,80	»
	Saint-Projet	0,10	6,10	»
	Bort.	0,10	2,70	»
Corrèze.	Brives.	0	2,80	»
	Tulle.	0	2,80	»
Lot	Villeneuve	0	9,10	10,60
	Cahors	0,10	5,90	6,77
	Capdenac.	0,10	6,50	»
	Mende.	0	4,40	6,30
	Bagnols.	0	1,30	»
Cellé	Figeac.	0	2,90	»
Truyère	Malzieu.	0	1,90	»
Baïse.	Route départementle n° 1.	0,10	3,00	»
Gers.	Route départementle n° 1.	0	2,70	»
Tarn	Moissac.	0	7,60	»
	Villemur	0	5,50	»
	Albi.	0,20	10,40	»
	Vignes.	0	8,00	»
Aveyron.	Villefranche	»	»	»
Viaur.	Laguépie.	»	»	»
Agout.	Lavaur	»	»	»

Tableau des cotes du plus bas étiage (ε') et des hydromodules (μ et μ') d'un certain nombre de cours d'eau [suite].

COURS D'EAU.	LOCALITÉS.	ε'	μ'	μ
Tarnon	Florac	0	3,90	»
Save	Route départementale n° 17	0	0,70	»
Ariége	Foix	0,10	3,90	»
Neste	Sarrancolin	0,10	3,20	»
LOIRE	Nantes	—0,50	7,10	»
	Saumur	0,20	6,40	6,87
	Tours	—0,30	5,10	7,82
	Orléans	—0,70	5,00	8,20
	Bec-d'Allier	0	3,50	5,46
	Digoin	0	2,90	6,72
	Roanne	0,20	2,60	»
	Goudet	0,70	2,70	»
Mayenne	Laval	0	1,30	»
Sarthe	Le Mans	0	2,40	»
Loir	La Flèche	0	1,30	»
Vienne	Limoges	0	3,20	»
	Saint-Léonard	0	3,20	»
Creuse	Le Blanc	0	3,30	»
	Argenton	0,20	4,10	»
Indre	Châteauroux	0,30	1,80	2,65
	La Châtre	0,10	1,90	»
Allier	Pont du Guetin	—0,10	5,00	»
	Moulins	—0,30	4,80	5,57
	Vichy	—0,20	4,00	»
	Pont du Château	0,30	4,00	»
	Brioude	0,10	6,30	»
	Langogne	0	3,90	»
Nièvre	Saint-Ours	0,20	1,90	»
Aron	Roche	0,10	3,20	»
Bèbre	Dompierre	—0,20	2,80	»
Arroux	Availly	0,10	2,90	»
CHARENTE	Cognac	1,30	3,80	»
VIDOURLE	Lunel	—0,60	3,60	»
HÉRAULT	Gignac	0	13,00	»
ORB	Béziers	1,20	3,60	»
AUDE	Coursan	0	6,60	»
TET	Prades	1,10	3,00	»
SOMME	Picquigny	0,60	1,50	»

NOTE.

Tableau des cotes hydrométriques ayant servi à calculer, à l'aide des constantes provisoires μ' et ε', les cotes hydrogrades de la carte fig. 1.

H_g = cote hydrograde; C_M = cote hydrométrique maxima de la crue.

H_g	COURS D'EAU.	LOCALITÉS.	C_M	H_g	COURS D'EAU.	LOCALITÉS.	C_M
			mèt.				mèt.
100,0	Eure.	Louviers. . . .	1,7	72,0	Serein.	L'Isle.	1,8
100,0	Epte.	Gisors	1,5	70,5	Yonne.	Sens	3,1
95,5	Marne.	La Chaussée. .	2,8	66,0	Aisne	Pontavert . . .	2,4
95,2	Aire.	Vraincourt. . .	2,3	65,2	Grand-Morin . .	Pommeuse. . .	2,0
93,5	Ornain	Fains.	1,3	65,0	Marne.	Chalifert. . . .	2,8
91,2	Seine	Bray	2,6	64,0	Id.	Chaumont. . .	1,0
85,0	Saulx.	Saudrupt . . .	1,6	63,0	Yonne.	Clamecy. . . .	1,3
84,0	Aisne	St-Menehould.	2,1	61,8	Oise.	Venette.	3,5
82,2	Ource.	Autricourt. . .	1,1	57,5	Loing	Nemours. . .	1,1
80,5	Marne.	Saint-Dizier. .	3,2	57,5	Seine	Montereau. . .	2,5
80,0	Ornain.	Ligny.	0,8	55,5	Id.	Mantes.	4,2
79,8	Aube.	Bar-sur-Aube .	1,1	53,5	Id.	Poissy	3,2
79,0	Brenne	Montbard . . .	2,0	51,2	Cousin.	Avallon	1,0
76,5	Oise	Hirson	2,2	51,0	Somme-Soude.	Conflans. . . .	0,9
75,0	Armançon. . . .	Aisy	1,5	48,8	Cure.	Saint-Père. . .	1,2
72,0	Seine	Gomméville . .	0,9	47,1	Seine	Paris.	3,0

Sur la carte on n'a pas inscrit de décimales.

Tableau des cotes hydrométriques ayant servi au calcul des cotes auxigrades de la carte fig. 4 du 8 août 1875.

A_g = cote auxigrade; C = cote hydrométrique du 8 août;
C_0 = cote initiale à l'origine de la crue; C_M = cote maxima de la crue.

A_g	COURS d'eau.	LOCALITÉS.	C	C_M	C_0	$C_M - C_0$
			mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
100,0	Saône. . .	Heuilley	1,6	1,6	0,6	1,0
100,0	Id. . . .	Saint-Jean-de-Lône. .	1,7	1,7	0,9	0,8
100,0	Doubs. . .	Navilly.	3,6	3,6	0,6	3,0
100,0	Rhône. . .	Lyon-Mulatière. . . .	4,1	4,1	0,5	3,6
100,0	Id. . . .	Givors	4,7	4,7	1,3	3,4
93,0	Id. . . .	Valence.	4,1	4,3	2,1	2,2
92,0	Id. . . .	Les Loyettes.	4,2	4,4	2,0	2,4
92,0	Id. . . .	Lyon, pont Morand. .	4,4	4,7	0,9	3,8
90,0	Saône. . .	Châlons	3,6	4,0	−0,1	4,1
89,0	Rhône. . .	Sault.	3,5	3,7	1,8	1,9
89,0	Id. . . .	Pont Saint-Esprit. . .	4.2	4,5	1.8	2,7
84,0	Id. . . .	Avignon	3,0	3,4	0,8	2,6
81,0	Saône. . .	Mâcon	3,5	4,1	0,4	3,7
70,0	Id. . . .	Trévoux	2,5	3,4	0,4	3,0
69,0	Rhône. . .	Tournon.	3,1	4,1	0,9	3,2
68,0	Ain	Pont d'Ain.	2,1	3,1	0,0	3,1
64,0	Saône. . .	Neuville	2,0	3,0	0,2	2,8
62,0	Ain	Chazey.	3,1	4,7	0,5	4,2
50.0	Isère. . . .	Roche de Glun.	1,2	2,0	0,7	1,3
49,0	Ain	Merloz	3,2	6,1	0,4	5,7
45,0	Drôme. . .	Crest.	0,3	0,7	0,0	0,7
43.0	Rhône. . .	Evian.	1,62	1,66	1,59	0,07
41,0	Id. . . .	Beaucaire	2,0	3,0	1,3	1,7
37,5	Id. . . .	Seyssel.	2,9	3,9	2,3	1,6
37,0	Arve. . . .	Bonneville.	0,9	1,6	0,5	1,1
25,0	Durance. .	Bompas.	0,8	1,4	0,6	0,8

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES.

CHRONIQUE.

Juin 1880.

N° 34

Renseignements statistiques sur les principaux barrages mobiles construits en France, pour l'amélioration de la navigation, à la date du 31 octobre 1878 (*).

DÉSIGNATION des barrages (de l'amont vers l'aval).	SYSTÈME DE CONSTRUCTION des engins mobiles.		ANNÉE depuis laquelle chaque barrage fonctionne.	OBSERVATIONS.
	Passe navigable.	Déversoir avec hausses.		
1° SEINE.				
Conflans	Vannes à bascule de M. Chanoine.		1858	Petite-Seine.
Beaulieu	Idem.		1865	
Le Vesoult	Fermettes et aiguilles de M. Poirée.		1856	
La Grande-Bosse	Idem.		1854	
Courbeton	Idem.		1849	
Varennes et 5 autres.	Chanoine.	Chanoine.	1871	Haute-Seine.
Melun		Poirée.	1854	
	Chanoine.		1871	
Vives-Eaux et 5 autres	Idem.	Chanoine.	1871	
La Monnaie (Paris).		Poirée. Cylindres tournants.	1853	
Suresnes	Poirée.		1867	Basse-Seine.
Bezons				
Marly			1868	
Andrezy			1862	
Meulan			1855	
La Garenne			1850	
Poses			1852	
Martot	Poirée.	Chanoine.	1866	
Saint-Aubin	Poirée.			

(*) Ce document est extrait du dernier rapport annuel du Chef du corps des Ingénieurs de l'armée, aux États-Unis d'Amérique.

Il y figure comme pièce annexe. La Commission des *Annales* le reproduit sous toutes réserves.

Paris, le 8 juin 1880.

RENSEIGNEMENTS STATISTIQUES (SUITE).

DÉSIGNATION des barrages (de l'amont vers l'aval).	SYSTÈME DE CONSTRUCTION des engins mobiles. Passe navigable.	Déversoir avec hausses.	ANNÉE depuis laquelle chaque barrage fonctionne.	OBSERVATIONS.
2° YONNE.				
La Chaînette	Poirée		1860	
L'Ile-Brûlée	Chanoine	Girard	1874	
Les Dumonts et 5 autres	Idem	Poirée		
Epineau	Poirée		[illegible]	
Le Pêchoir et 14 autres	Chanoine	Chanoine	[illegible]	
Port-Renard	Poirée		[illegible]	
3° MARNE.				
Châlons	Chanoine	Desfontaines	1865	
Cumières	Idem	Poirée	1855	
Damery	Idem	Desfontaines	1857	
Vandières	Idem	Poirée	1859	
Courcelles	Idem	Desfontaines	1862	
Mont-Saint-Père et 7 autres	Idem	Idem	1865	
Vaires	Idem	»	1865	
Joinville	Poirée	Desfontaines	1867	
4° MEUSE.				
27 barrages	Poirée		1 — 1875 15 — 1877 11 — 1878	
5° MOSELLE.				
9 barrages	Poirée		1 — [illegible] 3 — 1870 1 — [illegible] 1 — 1874 3 — 1875	
6° OISE.				
Verberie et 5 autres		Poirée	1853	
7° LOIRE.				
Roanne	Poirée		1846	
Decize	Chanoine	Poirée	1868	
8° ALLIER.				
Vichy		Poirée	1863	
9° SAONE.				
Saint-Albin	Poirée		[illegible]	
Saint-Jean-de-Losne et 2 autres	Idem		[illegible]	
Charnay	»	Poirée	[illegible]	
Verdun	»	Idem	[illegible]	
Gigny	Chanoine	Idem	1877	
Thoissey et 2 autres	Idem	Idem	[illegible]	
Ile Barbe	Idem	Idem	[illegible]	

RÉCAPITULATION.

RIVIÈRES.	NOMBRE de barrages.	PASSE NAVIGABLE.		DÉVERSOIR AVEC HAUSSES.			
		Poirée.	Chanoine.	Poirée.	Chanoine.	Desfontaines.	Girard.
Seine.	28	12	15	2	13	»	»
Yonne.	25	3	22	6	15	»	1
Marne.	15	6	14	2	»	12	»
Meuse.	27	27	»	»	»	»	»
Moselle. . . .	9	9	»	»	»	»	»
Oise.	6	»	»	6	»	»	»
Loire	2	1	1	1	»	»	»
Allier.	1	»	»	1	»	»	»
Saône.	11	4	5	7	»	»	»
Totaux.	124	57	57	25	28	12	1

N° 35

Sonnette à poudre à canon. — Les lecteurs des *Annales* connaissent la sonnette à poudre à canon, inventée par M. Schaw et employée récemment sur quelques chantiers, en France et en Angleterre.

Le mouton, comme on le sait, consiste en un cylindre plein en fonte, muni à sa partie inférieure d'un piston qui vient s'engager dans un cylindre creux en acier placé sur la tête du pieu, et au fond duquel on introduit une cartouche après chaque coup. Le mouton en tombant comprime l'air contenu dans ce cylindre d'acier, et la transformation du travail mécanique dû à la pesanteur développe une quantité de chaleur suffisante pour produire l'inflammation de la cartouche. L'explosion chasse le piston à la manière d'un projectile, et la réaction sur le fond du cylindre d'acier fait enfoncer le pieu qui avait déjà commencé à descendre sous l'influence de la compression de l'air pendant la chute du mouton.

Ce dernier est saisi au haut de sa course ascendante par un frein puissant, qui permet de le retenir pendant qu'on introduit une nouvelle cartouche ou qu'on déplace la sonnette.

La dilatation inégale du cylindre et du piston, par suite de leur échauffement avait l'inconvénient, dans le système primitif, d'amener la production d'un jeu laissant échapper les gaz de la combustion, et par suite de diminuer et même d'annuler l'effet utile de l'explosion après un certain nombre de coups.

M. Prindle, de Philadelphie, vient d'y remédier en introduisant à l'extrémité du piston des anneaux d'acier amovibles, disposés de telle manière qu'ils fassent ressort, sous la pression de l'air et des gaz, contre les parois du canon. On évite de la sorte les déperditions qui se produisaient dans le dispositif primitif.

Ce système de battage entraîne à des dépenses assez élevées; mais il offre sur le système ancien du battage au treuil ou à la vapeur l'avantage de ne pas écraser la tête du pieu (le choc du mouton se trouvant amorti par la compression préalable de l'air), de donner à chaque coup un enfoncement bien plus considérable, et enfin de fournir un bien plus grand nombre de coups dans un temps donné, chaque coup n'exigeant que deux secondes pour une hauteur de 5 mètres.

A côté de ces avantages, il convient de remarquer qu'on ne peut remonter le mouton qu'à des hauteurs relativement peu considérables. Car les fortes charges de poudre qui seraient nécessaires pour dépasser la limite moyenne que l'expérience a indiquées, donnent lieu à un tel échauffement du canon que les cartouches s'enflamment d'elles-mêmes avant le choc du mouton.

Cette sonnette a donné, paraît-il, de bons résultats à l'arsenal de Long-Island sur la Delawarre, aux travaux d'amélioration de la rivière James, et sur divers chantiers à New-York. On pense que son emploi serait surtout avantageux dans les terrains de résistance moyenne.

Les détails qui précèdent sont empruntés aux *Annales industrielles*, mai 1880.

O. C.

N° 36

BULLETIN BIBLIOGRAPHIQUE.

OUVRAGES FRANÇAIS.

1880.

1° Mathématiques pures.

Astor. — Étude sur quelques surfaces; par M. Astor, professeur au lycée de Nice, docteur ès sciences mathématiques. In-4°, 97 p. Paris, lib. Gauthier-Villars. (6 février.)

Boussinesq (J.). — Étude sur divers points de la philosophie des sciences; par M. J. Boussinesq, professeur à la Faculté des sciences de Lille. In-8°, 132 p. Paris, lib. Gauthier-Villars.

Breton (P.). — Remarques sur les deux satellites de Mars; par M. Philippe Breton, ingénieur en chef des ponts et chaussées en retraite. In-8°, 10 pages. Grenoble, imp. Maisonville et fils.

Catalan (E.). — Manuel de géométrie; par E. Catalan, agrégé de l'Université de France. 9° *édition*. In-12, XII-199 p. avec fig. Paris, imp. et lib. Delalain frères (24 mars).

—— Manuel de trigonométrie et de géométrie descriptive; par E. Catalan, agrégé de l'Université de France. 9° *édition*. In-12, 79 p. avec fig. et 4 pl. Paris, imp. et lib. Delalain frères (24 mars).

Colot (E.). — Tables pour les calculs d'intérêt simple par la méthode des parties aliquotes; par E. Colot, ancien élève de l'École polytechnique. Brochure in-8°. Paris, lib.-éd. Masson. Prix : 3 fr.

Desdouits (T.). — La Métaphysique et ses rapports avec les autres sciences; par Th. Desdouits, professeur de philosophie au lycée de Versailles. In-8°, 236 p. Paris, lib. Thorin.

Dubois (E.). — Éphémérides astronomiques et annuaire des marées pour l'année 1881, etc., destinés aux capitaines de navire et rédigés par Edmond Dubois, examinateur de la marine. 11° année. In-12, LXXXVI-44 p. Saint-Brieuc, lib. Prud'homme.

LAISANT (C. A.). — Discours d'ouverture au congrès de Montpellier (1879) et notice historique sur les travaux mathématiques de l'Association française pour l'avancement des sciences de 1872 à 1878 : par C. A. Laisant, député de la Loire-Inférieure, docteur ès sciences mathématiques. In-8°, 60 p. Paris, imp. Chaix et Cie (30 mars).

LONGCHAMPS (G. de). — Recherche sur les facteurs commensurables d'une équation de degré quelconque; par G. de Longchamps, professeur de mathématiques spéciales au lycée Charlemagne. In-8°, 8 p. Paris, lib. Delagrave (18 mars).

2° Mécanique. — Construction.

CHABAT (Pierre). — La brique et la terre cuite, étude historique de l'emploi de ces matériaux, fabrication et usages, motifs de construction et de décoration choisis dans l'architecture des différents peuples; par Pierre Chabat, architecte, professeur adjoint à l'École spéciale d'architecture, préparateur du cours de constructions civiles au Conservatoire des Arts-et-Métiers, avec la collaboration de Félix Monmory, architecte, ancien élève de l'École spéciale d'architecture. — Conditions de la souscription : l'ouvrage formera un volume in-folio comprenant : 1° un texte avec figures intercalées; 2° 80 planches en couleurs. Il est publié par livraisons de 10 planches. — Prix : 100 fr. Paris, librairie Morel et Cie.

COLLIGNON (E.). — Traité de mécanique; par Édouard Collignon, inspecteur de l'École des ponts et chaussées. Première partie : Cinématique. 2e édition, revue et augmentée. In-8°, IV-531 p. avec 342 fig. Paris, libr. Hachette et Cie. 7 fr. 50. (22 avril.)

CORNUT (E.). — Étude géométrique des principales distributions en usage dans les machines à vapeur fixes; par M. E. Cornut, ingénieur en chef de l'Association des propriétaires d'appareils à vapeur du nord de la France. In-8°, 143 p. et atlas in-4° contenant 55 fig. Lille; Paris, libr. Baudry.

DELATAILLE (E.). — Art du trait pratique de charpente, continuation des ouvrages commencés par Frédéric Larrouil; par Émile Delataille. Quatrième partie : Traité des combles en bois croches, dômes, chinois, impériales, etc.; raccordement de combles, guitardes, voûtes trompes, voussures en pénétration de toutes sortes. 1re édition. Grand in-folio, 30 p. et 26 planches. Tours, imp. Juliot; l'auteur, 20 fr.

HERSENT. — Notice sur les principaux travaux de fondations d'ou-

vrages d'art à l'Exposition universelle de 1878; par M. Hersent. In-8°, 23 p. et pl. Paris, imp. Capiomont et Renault. (30 mars.)

KINNEAR CLARK (D. — Tramways: construction et exploitation; historique détaillé du système; analyse des divers modes de traction, etc; par D. Kinnear Clark, I. C. de l'institution des ingénieurs civils de Londres. Ouvrage traduit de l'anglais et augmenté d'un appendice sur les tramways français, leur construction, leur exploitation, le matériel roulant et les machines de traction, etc., par O. Chemin, ingénieur des ponts et chaussées. In-8°, XVI-446 p. avec 152 fig. et atlas in-4° de 24 pl. Paris, libr. Dunod. (12 avril.)

LACROIX (J.). — La brique ordinaire au point de vue décoratif; par J. Lacroix, architecte. — Le texte par C. Détain, architecte. — Un beau volume grand in-4°, 75 planches en couleur. 12 feuilles de texte contenant près de 200 figures sur bois. Prix en carton: 125 fr. Paris, Durcher, éditeur.

LIPPMANN (Ed.). — Petit traité de sondage: études et recherches souterraines par sondages à de faibles profondeurs; par M. Ed. Lippmann, ingénieur civil. Un vol. grand in-8°, VIII-56 p. et 4 pl. Paris, Lacroix, éditeur.

MARRE (J. de). — Des instruments pour la mesure des distances; par M. Jacob de Marre, lieutenant d'artillerie de la marine. In-8°, 320 p. avec 92 fig. et atlas. Grand in-folio de 17 pl. Paris, libr. Tanera. 15 fr. (21 avril.)

3° Navigation maritime et intérieure.

ANNUAIRE des marées des côtes de France pour l'an 1881; par MM. Gaussin et Hatt, ingénieurs hydrographes. In-18, IX-312 p. Paris, lib. Challamel aîné. 1 fr. (17 avril.)

BOUNICEAU (P.). — Les Grandes routes du globe: le Canal interocéanique (Nicaragua et Panama); par Prosper Bouniceau, de la Société de géographie de Paris. In-8°, 24 p. Angoulême, impr. Chasseignac et Cie.

GOUIN (A.). — Statistique du port de Marseille; par A. Gouin, capitaine du port. In-4°, 34 p. et plan. Marseille, impr. Barlatier-Feissat père et fils.

HAUVEL (C.). — Étude du régime des cours d'eau; par Ch. Hauvel, ingénieur. In-8°, 32 p. Paris, l'auteur, 48, boulevard Voltaire.

PHARES des côtes nord et ouest de France et des côtes ouest d'Espagne et de Portugal, corrigés au 1er mars 1880. In-8°, 97 p. Paris, lib. Challamel aîné. 1 fr. (9 avril.)

PHARES des côtes orientales de l'Amérique anglaise et des États-Unis corrigés au 1er mars 1880. In-8°, 117 p. Paris, lib. Challamel aîné. 1 fr. (9 avril.)

—— des mers des Indes et de Chine, de l'Australie, de la Tasmanie, de la Nouvelle-Zélande et des côtes sud et est d'Afrique, corrigés au 1er mars 1880. In-8°, 124 p. Paris, lib. Challamel aîné. 1 fr. (31 mars.)

—— du Grand Océan (côtes occidentales d'Amérique et îles éparses) corrigés au 1er mars 1880. In-8°, 31 p. Paris, lib. Challamel aîné. 25 c. (25 mars.)

RAPPORTS de MM. les ingénieurs du service hydraulique sur : 1° la situation générale du service au 1er juillet 1879 ; 2° l'utilisation des eaux d'hiver à la submersion des vignes. In-8°, 52 p. Nîmes, impr. Clavel-Ballivet et Cie.

SUPPLÉMENT au catalogue par ordre chronologique des cartes, plans, vues de côtes, mémoires et instructions nautiques qui composent l'hydrographie française. In-8°, 40 p. Paris, lib. Challamel aîné. 1 fr. (8 avril.)

TALLENDEAU (A.). — La Seine de Paris à Rouen. Canalisation par barrages, déversoirs fixes, voie maritime navigable avec un tirant d'eau minimum de 4 mètres, les eaux du fleuve maîtrisées au profit de la navigation, de l'industrie et de l'agriculture ; par A. Tallendeau, avocat consultant, ancien élève de l'École d'administration. 3 vol. in-8°, avec cartes gravées, 5 fr. — *Paris*, lib. A. Ghio.

VOISIN-BEY. — Sur le canal interocéanique à travers l'isthme américain. Communication faite à la Société d'encouragement pour l'industrie nationale, le 11 juillet 1879, par M. Voisin-Bey, membre du conseil. In-4°, 31 p. Paris, impr. Tremblay. (2 avril.)

4° Chemins de fer.

BARBIER (J.-B.) — Chemin de fer Trans-Saharien, carte générale de raccordement des trois directions proposées avec le réseau des chemins de fer algériens, par J.-B. Barbier, 0^{f},75. Paris, lib. Challamel.

BERARD (E.). — Le Mont-Blanc et le Simplon, considérés comme voies internationales, avec une lettre de M. le professeur M. Baretti sur les conditions géologiques du tracé Aoste-Chamounix, un vol. in-12, avec 2 profils et 1 carte, 1^{f},50. Paris, lib. Baudry.

BOINVILLIERS (E.). — Les chemins de fer désastreux ; par Édouard

Boinvilliers. 2e *édition*. In-18, 31 p. Paris, imp. Dubuisson et Cie. (21 mars.)

Carte des chemins de fer. (Les travaux publics de la France.) Paris, chromolith. Lemercier et Cie.

—— des routes nationales. (Les travaux publics de la France.) Paris, chromolith. Lemercier et Cie.

Cazeneuve (A.). — Le réseau d'intérêt local et les chemins de fer sur route; par Albert Cazeneuve. Petit in-8°, 61 p. Paris, lib. Guillaumin et Cie.

Derrien. — Le chemin de fer Trans-Saharien d'Oran au Touat par Tlemcen et l'oued Messaouda; par Derrien, capitaine d'état-major, brochure in-8°, 1f,50. Paris, lib. Challamel.

Extrait du Guide officiel des chemins de fer de la Haute-Italie: Turin, Florence, Rome, Naples, Livourne, Pise, Gênes. In-16, 499 p. Paris, lib. Lubin.

Forquenot. — Visites des ingénieurs anciens élèves de l'École centrale des arts et manufactures à l'Exposition universelle de 1878. Les Locomotives; par M. Forquenot. In-8°, 20 p. Paris, 18, rue Lafayette.

Franqueville (C. de). — L'État et les chemins de fer en Angleterre; lettre adressée à M. le président de la commission des Annales des ponts et chaussées; par Ch. de Franqueville. In-8°, 32 p. Paris, impr. Chaix et Cie. (4 mars.)

Laurens (C.). — Le rachat des chemins de fer par l'État et les transports à bon marché; par C. Laurens, ingénieur E. C. In-8°, 23 p. Bardin; Paris, lib. Ducher et Cie.

Moschell (John). — Notice sur le chemin de fer à voie étroite de Lausanne à Échallens, par M. John Moschell, ingénieur. 1 vol. gr. in-8° de 28 p. et 1 pl., 1f,50.

Parandier. — Étude sur les courants de circulation et sur les principes à suivre dans le tracé des voies nouvelles de transport destinées à les desservir; par M. Parandier, inspecteur général des ponts et chaussées en retraite. In-8°, 54 p. Paris, lib. Dunod. (4 mars.)

Revue générale des chemins de fer, paraît tous les mois. Mémoires et documents sur l'établissement, la construction et l'exploitation technique et commerciale des voies ferrées, par un comité composé de MM. Banderali, Chauffard, Heurteau, Level, Mathieu, Michel, Morandière, Regray, Sartiaux. Prix: Demi-année 1878. France, 12f50. Étranger 14 fr. 1879 et 1880, chacune. — 11f,25. — 28 fr. Paris, lib. Dunod.

Tresca (H). — Résultats des expériences de flexion faites sur des

rails en fer et en acier au delà de la limite d'élasticité et jusqu'à la rupture; par M. Henri Tresca. In-8°, 32 p. et pl. Paris, imp. Capiomont et Renault. (30 mars.)

5° Législation. — Administration. — Économie politique.

Armengaud aîné. — Instructions pratiques à l'usage des inventeurs; Commentaire raisonné des lois qui régissent actuellement les brevets d'invention dans les principaux pays industriels; par Armengaud aîné, ingénieur. 3e *édition*. In-18, 60 p., l'auteur, 45, rue Saint-Sébastien. (27 mars.)

—— Supplément au Guide-Manuel de l'inventeur et du fabricant, etc.; par Armengaud jeune. Annexe de la 6e *édition*, comprenant les lois récentes aux États-Unis; en Allemagne et en Espagne. Deuxième partie. Législation étrangère. In-8°, II-59 p. Paris, l'auteur, 23, boulevard de Strasbourg; les principaux libraires. (23 février.)

Baudrillart (H.). — Les Populations agricoles de la France. La Normandie (passé et présent); Enquête faite au nom de l'Académie des sciences morales et politiques; par M. H. Baudrillart, de l'Institut. In-8°, XII-428 p. Paris, lib. Hachette et Ce. 6 fr. (12 avril.)

Block (M.). — Supplément annuel au Dictionnaire de l'administration française; par M. Maurice Block, avec la collaboration de membres du Conseil d'État, de la cour des Comptes, des chefs de service de divers ministères, etc. I. Novembre 1878. 1er *tirage*. In-8° à 2 col., 84 p. Nancy, imp. et lib. Berger-Levrault et Ce; Paris, même maison. 2f,50.

Bormans (Th.). — Traité de l'alignement et des droits de voirie; par Th. Bormans. 1 vol. gr. in-8°. Paris, lib. Rousseau. 9f,50.

Bulletin du ministère des travaux publics, statistique, législation comparée, un numéro tous les mois. Prix : Pour la France et l'étranger, 12 fr.

Cauwès (P.). — Cours d'économie politique, professé à la Faculté de droit de Paris; par Paul Cauwès, agrégé, chargé d'un cours d'économie politique à la Faculté de droit de Paris. L'ouvrage complet, 2 vol. in-8°. 16 fr. Le tome II seul se vend séparément. 8 fr. Larose, éditeur à Paris.

Conférences internationales de statistique tenues à Paris, du 22 au 24 juillet 1878, au palais du Trocadéro, à l'Exposition universelle internationale de 1878. In-8°, 196 p. Paris, imp. nationale. (17 avril.)

Crisenoy (J. de). — Les réformes de la législation vicinale; par J. de Crisenoy. In-8°, 37 p. Nancy, imp. et lib. Berger-Levrault et Cie; Paris, même maison. 1f,25.

Delaire (A.). — L'agriculture nationale et le libre-échange, à propos d'une enquête récente; par A. Delaire. In-8°, 40 p. Paris, lib. Gervais. (23 février.)

Doussaud (A.). — Droit administratif : des expertises en matière de travaux publics; par Alfred Doussaud, avocat. In-8°, x-195 p. Paris, lib. Marchal, Billard et Ce. 4f,50. (9 mars.)

Fabre (J.). — De la prescription de l'action en responsabilité dirigée contre les architectes; par Jules Fabre, avocat à la cour d'appel de Paris. 8 p. Paris, lib. Pedone-Lauriel.

Foville (A. de). — La transformation des moyens de transport et ses conséquences économiques et sociales; par Alfred de Foville, professeur à l'École des sciences politiques. In-8°, xxiii-480 p. Paris, lib. Guillaumin et Ce. 7f,50. (6 février.)

Fuzier-Herman (Édouard). — La séparation des pouvoirs d'après l'histoire et le droit constitutionnel comparé; par Édouard Fuzier-Herman, procureur de la République à Segré, chevalier de la Légion d'honneur. Ouvrage couronné par l'Institut. Académie des sciences morales et politiques. 1 beau vol. in-8° 8 fr. Paris, libr. Maresq.

Jacqmin (P.).— Des obligations et de la responsabilité des compagnies de chemins de fer en matière de transports; par Paul Jacqmin, docteur en droit, avocat à la cour d'appel. In-8°, ix-253 p. Paris, imp. Vve Renou, Maulde et Cock. (25 mars.)

Jourdan (G.). — Législation sur les logements insalubres; Traité pratique; par Gustave Jourdan, chef de bureau à la préfecture de la Seine. 2e *édition*. In-12, vi-397 p. Nancy, imp. et lib. Berger-Levrault et Ce. 5 fr.

Malo. (L.). — Le rachat des chemins de fer, ses dangers pour les intérêts publics; par M. Léon Malo, ingénieur. In-8°, 38 p. Lyon, imp. Bellon.

Masselin (O.). — Nouvelle jurisprudence et traité pratique sur la responsabilité des architectes, ingénieurs, experts, arbitres et entrepreneurs; suivis d'un répertoire analytique et alphabétique et d'un recueil de jurisprudence; par O. Masselin, entrepreneur des travaux de maçonnerie au palais du Trocadéro. 2e *édition* entièrement revue et considérablement augmentée, etc. In-8°, 383 p. Paris, imp. Goyon; lib. Baudry; Cotillon et Cie, 12 fr., avec supplément. (15 avril.)

Rouvier (C.) — Études économiques. Libre échange et protection

au point de vue commercial et industriel ; par Clément Routier, de la Société de géographie de l'École supérieure de commerce de Marseille. In-8°, 11 p. Paris, lib. Challamel aîné. (17 avril.)

VALLÉE (E.). — Les impôts et les chemins de fer, n° 7. Grandeur et décadence de M. Simon Philippart, suivies du grand plan général de classement ; par E. Vallée, ancien élève de l'École polytechnique. In-8°, 32 p. Châteaudun. Paris, lib. Lefrançois, 0f,25.

VIGNES (Édouard). — Traité des impôts en France, considérés sous le rapport du droit, de l'économie politique et de la statistique, suivi du mouvement détaillé de la dette publique depuis 1789 ; par M. Édouard Vignes, membre de la Société d'économie politique de Paris. 4e *édition*, mise au courant de la législation ; par M. Vergniaud, secrétaire général de la préfecture de la Seine, professeur à l'École des sciences politiques. 2 vol. in-8°. Prix : 16 fr. — Paris, Guillaumin et Cie, lib.

6° Physique. — Météorologie. — Géologie. — Minéralogie.

ANNALES TÉLÉGRAPHIQUES. Un numéro tous les deux mois. Prix : pour Paris et départements, 12 fr. ; *net*, 11f,50 ; pour l'étranger, 15 fr., ou selon les tarifs. Paris, lib. Dunod.

BARRANDE (J.). — Système silurien du centre de la Bohême ; par J. Barrande, membre de la Société géologique de France. Paris, 1852-1879. 18 vol. gr. in-4°, cart. toile, avec 816 pl. Au lieu de 1.225 fr., 1.000 fr.

BRAULT (L.). — Les Observations simultanées et les Cartes synoptiques au congrès météorologique international de Rome, tenu en avril 1879 ; par L. Brault, lieutenant de vaisseau. In-8°, 30 p. Nancy, lib. Berger-Levrault et Cie. Paris, même maison.

COMPTE RENDU de la commission météorologique du département de Vaucluse pour l'année 1878. In-4°, 31 p. et tableaux. Avignon, impr. Seguin frères.

COTTEAU, PERON et GAUTHIER. — Échinides fossiles de l'Algérie. Description des espèces déjà recueillies dans ce pays, et considérations sur leur position stratigraphique ; par MM. Cotteau, Peron et Gauthier. 6e fascicule : Étage turonien. In-8°, 110 p. et 8 pl. Paris, lib. G. Masson. 15 fr.

FINES. — Bulletin météorologique du département des Pyrénées-Orientales, publié sous les auspices du département et de la ville de Perpignan ; par le docteur Fines. Année 1878. In-4°, 79 p. Perpignan, impr. Latrobe.

FONTANNES (F.). — Description des ammonites des calcaires du

château de Crussol (Ardèche); par F. Fontannes, attaché au service de la carte géologique de France. Deuxième partie. Grand in-4°, p. 57 à 123, avec 5 pl. (Fin.) Lyon, lib. Georg; Paris, lib. Savy.

FONTANNES (F.)— Études stratigraphiques et paléontologiques pour servir à l'histoire de la période tertiaire dans le bassin du Rhône; par F. Fontannes. IV. Les terrains néogènes du plateau de Cucuron; Cadenet; Cobrières-d'Aigues. Grand in-8°, 104 p. avec figures et 3 planches. Paris, lib. Savy.

JUTIER et L. ROUX. — Note sur l'emploi de l'électricité dans le tirage des coups de mines; par M. Jutier, ingénieur en chef des mines. Suivi d'une notice de M. L. Roux, ingénieur en chef des poudres. In-8°, 35 p. et planches. Paris, impr. Arnous de Rivière, lib. Dunod. (3 février.)

LAPPARENT (de). — Le pays de Bray; par A. de Lapparent, président de la Société géologique de France. Paris, 1879. 1 vol. in-4° de 182 p., avec 1 carte géol. du pays de Bray au 320000e et 3 cartes de coupes géol. 7f,25. Libr. Savy.

LIARD (L.). — Du rôle de l'expérience dans la physique de Descartes; par Louis Liard. In-8°, 19 p. Bordeaux, imp. Gounouilhou.

LORTET et E. CHANTRE. — Études paléontologiques dans le bassin du Rhône; période tertiaire; recherches sur les mastodontes et les faunes mammalogiques qui les accompagnent; par le docteur Lortet et E. Chantre. Gr. in-4°, 33 p. et 17 pl. Lyon, imp. Pitrat aîné; libr. Georg.

MERCADIER (E.). — Traité élémentaire de télégraphie électrique, Leçons faites à l'administration centrale des télégraphes à l'usage des auxiliaires, surnuméraires, agents des postes et des télégraphes, des écoles de télégraphie militaire et de toutes les personnes qui désirent acquérir des notions de télégraphie électrique; par M. E. Mercadier, inspecteur des études et professeur à l'École supérieure de télégraphie, répétiteur à l'École polytechnique. 1 vol. in-18 avec 158 fig. dans le texte. Prix: 3f,50. Paris. Masson, éditeur.

PÉROCHE (J.). — Les Oscillations polaires et les Températures géologiques. Nouvelles considérations; par Jules Péroche. In-8°, 52 p. et 1 pl. Bar-le-Duc, imp. Contant-Laguerre, Paris, libr. Germer-Baillière et Cie.

QUESNEVILLE (G.). — De la détermination des chaleurs spécifiques à volume constant dans le cas des corps simples et composés; par M. Georges Quesneville, docteur ès sciences. In-4°, 35 p. Paris, imp. ve Renou, Maulde et Cock. (25 févr.)

ROUSILLE (Albert). — Cours de minéralogie à l'usage des élèves des Écoles d'agriculture; par M. Albert Rousille, professeur de chimie à l'École nationale d'agriculture de Grand-Jouan. 1 vol. in-8°, 3 fr.

FOUQUÉ et MICHEL LÉVY. — Minéralogie micrographique. Roches éruptives françaises, par Fouqué et Michel Lévy, membres de la Société géologique de France. Paris, 1879, 1 vol. gr. in-4° de IV-509 pages, avec 125 figures dans le texte et atlas gr. in-4° de 58 pl. coloriées, 48 fr.

SEIGNETTE. — Essai d'études sur le massif pyrénéen de la haute Ariège; par P. Seignette, membre de la Société géologique de France, 1880. In-4° avec 9 pl. de coupes et une carte géol. du bassin de la haute Ariège, 12 fr., lib. Savy.

TRAITÉ D'ÉCLAIRAGE, par le gaz de houille; par M. Schilling, directeur de la compagnie du gaz de Munich, précédé d'un historique de l'éclairage au gaz, par M. le professeur-docteur Knapp. Traduit de l'allemand par M. Ed. Servier, ingénieur civil, ex-ingénieur de la compagnie parisienne du gaz, etc. — Deuxième édition, revue et considérablement augmentée. 1 vol. in-4°, de 676 p., 388 figures intercalées dans le texte et un atlas de 77 planches lithographiées, 80 fr. Paris, lib. Lacroix.

7° Agriculture. — Irrigations. — Sujets divers.

BRUNFAUT (Jules). — Des phosphates et des produits chimiques propres à l'agriculture; par Jules Brunfaut. Une brochure in-8°, 2 fr. Paris, lib. Baudry.

EYRIÈS (G.). — Les Châteaux historiques de la France; par M. Gustave Eyriès. 1re série, contenant 200 eaux-fortes dans le texte et 50 planches hors texte, gravées par nos principaux aquafortistes, sous la direction de M. Eugène Sadoux. T. 1. Fascicules 1 à 6. (Châteaux de la Rochefoucauld, Amboise, Josselin, Serrant, Vigny, Montal, Castelnau de Brétenoux et la Grangefort-sur-Issoire.) In-4°, p. 33 à 209. T. 2. Fascicules 1 à 6. (Château d'Anet, Bonneval, les Vaux-de-Cernay, Bussy-Rabutin, Vizille, Chastellux, Époisses, Oyron, Bazoches, Rambures et Chambord. In-4°, 277 p. Poitiers, imp. et lib. Oudin frères; Paris, même maison. Les 2 volumes, 240 fr.

FIGUIER (L.). — L'Année scientifique et industrielle; par Louis Figuier. 23e année (1879). In-18 jésus, 568 p. et grav. Paris, lib. Hachette et Cie. 3f,50. (24 mars.)

GIRDWOYN (Michel). — Pathologie des poissons. Traité des mala-

dies, des monstruosités et des anomalies des œufs et des embryons; par Michel Girdwoyn. 1 volume in-folio. Prix, 20 fr. Paris, lib. Rothschild.

Goffart. — Manuel de la culture et de l'ensilage des maïs et autres fourrages verts; par Auguste Goffart. Troisième édition, avec 4 planches et 6 gravures dans le texte. Un vol. in-18. Prix, 3 fr. Paris, lib. Masson.

Joulie (H.). — Petit guide pour l'emploi des engrais chimiques d'après le système de M. G. Ville, contenant tous les renseignements indispensables pour l'application des nouvelles méthodes de culture et d'analyse du sol; par H. Joulie et Cie. 3e *édition*. In-8°, 79 p. Paris, imp. Wittersheim, 10 *bis*, quai de la Marne. (11 mars.)

Lami et A. Tharel. — Dictionnaire encyclopédique et biographique de l'industrie et des arts industriels, avec la collaboration de plusieurs savants.

Legrand (M.). — Les Routes de l'Inde; par Maxime Legrand. In-8°, 162 p. Paris, imp. et lib. Dumaine. (1er mars.)

Mangin (A.). — Les Phénomènes de l'air; par Arthur Mangin. In-8°, 215 p. et gravure. Tours, impr. et lib. Mame et fils.

Pinta (X.). — Le Labourage à vapeur, ses frais comparés à ceux du labourage ordinaire; par X. Pinta, de la Société centrale d'agriculture d'Arras. 2e *édition*. In-8°, 16 p. Arras, imp. Rohard-Courtin. 50 cent.

Ruines et monuments pittoresques de la Suisse. Publication de luxe paraissant mensuellement. Tous les mois, 8 belles planches, dessins de Phantaz. 1re livraison, canton de Genève; 2e, canton de Vaud; 3e, canton de Berne, etc. Abonnement pour l'année 1880 : 12 livraisons de 8 planches, 24 fr.; une livraison seule, 2f,50. Paris, Durcher et Cie, éditeurs.

Salet. — Utilisation agricole des eaux d'égout; discours par M. le docteur Salet. In-8°, 12 p. Paris, lib. Veuve A. Delahaye et Cie. (7 février.)

Van Overbeck de Meijer. — De l'Évacuation des eaux et immondices d'une ville; par Van Overbeck de Meijer. Brochure in-8°, 2 fr. Paris, lib. Rapilly.

TABLES

DES MÉMOIRES ET DOCUMENTS

PUBLIÉS

DURANT LE 1er SEMESTRE DE 1880.

PREMIÈRE TABLE.

RÉCAPITULATION DES ARTICLES PAR ORDRE D'INSERTION.

NUMÉROS des articles.	RAPPEL des cahiers.	INDICATION DES ARTICLES.	NUMÉROS des pages.	NUMÉROS des planches.
1	1	Le Plan incliné de Madison (Indiana) : Note par M. Gariel, ing. des p. et ch.	5	
2	1	Note sur le tarage de l'hydro-dynamomètre hydraulique; par M. de Perrodil, ing. en chef des p. et ch.	11	1
3	1	Note sur le chargement direct, par la drague, des wagons sur bateau; par M. Gotteland, ing. des p. et ch.	29	
4	1	Note sur le système de décintrement à galets pouvant fonctionner dans l'eau; par M. Henry, conducteur des p. et ch.	33	2
5	1	Note sur l'explosion d'une chaudière à vapeur dans une sucrerie à Carvin (Pas-de-Calais).	37	
		Chronique [Janvier] :		
6	1	Remarque sur la méthode graphique exposée dans le mémoire n° 42 du cahier d'août 1879; par M. Kleitz, insp. gén. des p. et ch.	49	
7	1	Détermination de l'emplacement d'un pont à établir sur le Danube dans le voisinage et à l'Est de Silistrie; par M. L. Lalanne, insp. gén. des p. et ch.	52	
8	1	Allocution prononcée à l'ouverture des cours de l'École des p. et ch.; par M. Tarbé de Saint-Hardouin, insp. gén. des p. et ch.	56	
9	1	Bulletin bibliographique d'ouvrages français. . . .	59	
10	2	Prix Watier.	75	
11	2	Note sur le profit des travaux; par M. de Labry, ing. en chef des p. et ch.	76	

NUMÉROS des articles.	RAPPEL des cahiers.	INDICATION DES ARTICLES.	NUMÉROS des pages.	NUMÉROS des planches.
12	2	Construction du réservoir de Paroy (canal de la Marne au Rhin) : Notice par M. Picard, ing. des p. et ch.	86	3, 4, 5
		Chronique [Février] :		
13	2	Rectification au sujet de l'article de M. Malo sur les asphaltes.	128	
		Pont sur le Severn (Angleterre).	129	
		Viaduc de Llandulas (Angleterre).	131	
		Nouveaux mémoires sur les voûtes en maçonnerie.	132	
14	2	Bulletin bibliographique d'ouvrages étrangers . . .	136	
15	3	Prix décernés aux auteurs des meilleurs mémoires publiés dans les *Annales des p. et ch.* en 1878.	151	
16	3	Notice nécrologique sur M. Watier, insp. gén. des p. et ch.; par M. Chambrelent, insp. gén. des p. et ch.	152	
17	3	Notice sur les divers procédés de dragage employés dans les ports de l'Amérique du Nord; par M. Lavoinne, ing. en chef des p. et ch.	161	6 à 8
18	3	Note sur la résistance des voûtes et des arcs métalliques; par M. de Perrodil, ing. en chef des p. et ch.	218	
		Chronique [Mars] :		
19	3	Sur la limitation de la vitesse eu égard au tracé de la voie	233	
		Sur la température des eaux souterraines.	235	
		Nivellement expéditif.	235	
		Construction de chemins de fer aux Etats-Unis en 1879.	237	
20	4	Paroles prononcées aux obsèques de M. Léonce Reynaud, par MM. Lalanne, Allard, de Dartein et Pradelle.	239	
21	4	Exhaussement du mouillage du canal de la Marne au Rhin; mémoire par MM. Picard et Bruniquel, ing. des p. et ch..	249	9, 10, 11, 12, 13
		Chronique [Avril] :		
22	4	Note sur la construction d'un batardeau en béton dans le port de Marseille; par M. Bernard, ing. en chef des p. et ch.	357	
23	4	Note sur la pêche de la montée d'anguilles; par M. Daguenet, ing. en chef des p. et ch.	359	
24	4	Un chemin de fer sur la glace.	361	
25	4	Bibliographie : Ouvrages anglais.	362	
26	5	Étude sur les courants de circulation et sur les principes à suivre dans le tracé des voies nouvelles de transport destinées à les desservir; par M. Parandier, insp. gén. des p. et ch.	367	
27	5	Vérification de la stabilité des voûtes et des arcs.		

NUMÉROS des articles.	RAPPEL des cahiers.	INDICATION DES ARTICLES.	NUMÉROS des pages.	NUMÉROS des planches.
		— Application aux voûtes sphériques : Mémoire par M. Alfred Durand-Claye, ing. des p. et ch.	416	14, 15, 16
28	5	Académie des Sciences : prix *Dalmont*, décerné à M. Collignon, ing. en chef des p. et ch.	441	
29	5	Tableau des recettes de l'exploitation des chemins de fer français d'intérêt général (années 1878 et 1879).	442	
		Chronique [Mai] :		
30	5	Nouveaux mémoires sur les voûtes en maçonnerie. — *Erratum*.	446	
		L'accident du pont sur le Tay (Angleterre).	446	
		Le grand tunnel du Saint-Gothard.	450	
31	5	Bibliographie : ouvrages étrangers.	452	
32	6	Des longueurs virtuelles d'un tracé de chemin de fer : Notice par M. Ch. Baum, ing. des p. et ch.	455	
33	6	Exposé d'un mode de notation et de représentation des observations hydrométriques ; par M. Ch. Ritter, ing. en chef des p. et ch.	579	17
		Chronique [Juin] :		
34	6	Renseignements statistiques sur les principaux barrages mobiles construits en France pour l'amélioration de la navigation.	599	
35	6	Sonnette à poudre à canon.	601	
36	6	Bulletin bibliographique d'ouvrages français. . . .	603	

DEUXIÈME TABLE.

ANALYSE DES MATIÈRES PAR ORDRE ALPHABÉTIQUE.

A

Académie des Sciences. Prix *Dalmont* décerné à M. Collignon, p. 441.

Accident du pont sur le Tay (Angleterre), p. 446 (*Chr.*).

ALLARD (E.). Paroles prononcées aux obsèques de M. Léonce Reynaud, p. 239.

Asphaltes (Mémoire de M. Malo sur les) : Note rectificative de M. L. Durand-Claye, p. 128 (*Chr.*).

B

Barrages mobiles construits en France pour l'amélioration de la navigation. Renseignements statistiques, p. 599 (*Chr.*).

Batardeau en béton dans le port de Marseille (construction d'un) : Note par M. Bernard, p. 357 (*Chr.*).

BAUM. Des longueurs virtuelles d'un tracé de chemins de fer, p. 455 à 576. Table des matières, p. 577.

— Médaille d'or de 300 francs pour son Étude sur les chemins de fer d'intérêt local, p. 151.

BERNARD. Note sur la construction d'un batardeau pour les travaux d'achèvement du bassin national, à Marseille, p. 357 (*Chr.*).

Bibliographie. Bulletin des ouvrages : français, p. 59, 601 ; — américains, p. 453 ; — anglais, p. 136, 362, 452 ; — allemands, p. 143 ; — italiens et espagnols, p. 145.

BRUNIQUEL et **PICARD** (A.). Mémoire sur l'exhaussement à 2 mètres du mouillage du canal de la Marne au Rhin, p. 249 à 355. Table des matières, p. 355.

C

CHAMBRELENT. Notice nécrologique sur M. Watier, p. 152 à 160.

— Médaille d'or de 600 francs pour son Mémoire sur l'assainissement et la mise en valeur des Landes de Gascogne, p. 151.

Canal de la Marne au Rhin. Construction du réservoir de Paroy : Notice par M. A. Picard, p. 86.

— Exhaussement à 2 mètres de mouillage : Mémoire par MM. Picard (A.) et Bruniquel, p. 249.

Chargement direct par la drague des wagons placés en bateaux : Note par M. Gotteland, p. 29.

Chaudière a vapeur (explosion d'une) dans une sucrerie à Carvin : Rapport de M. Duporcq, p. 36.

Chemins de fer :

(1) Le plan incliné de Madison (Indiana) : Note par M. Gariel, p. 5.

(2) Viaduc de Llandulas (Angleterre), p. 131 (*Chr.*).

(3) Sur la limitation de la vitesse eu égard au tracé de la voie, 233 (*Chr.*).

(4) Construction de chemins de fer aux États-Unis, en 1879, p. 237 (*Chr.*).

(5) Un chemin de fer sur la glace, p. 361 (*Chr.*).

(6) Tableau des recettes de l'exploitation des chemins de fer français d'intérêt général (années 1878 et 1879), p. 442.

(7) Accident du pont sur le Tay (Angleterre), p. 446 (*Chr.*).

(8) Des longueurs virtuelles d'un tracé de chemins de fer : Note par M. Ch. Baum. p. 455.

CHRONIQUE. *Voir* la première table, p. 613.
COLLIGNON. Prix *Dalmont*, p. 441.
COURANTS de circulation (principes à suivre dans le tracé des voies nouvelles de transport destinées à desservir les) : Étude par M. Parandier, p. 367.
COURS D'EAU (Jaugeage des) : Note sur le dynamomètre hydraulique, par M. de Perrodil, p. 11.

D

DAGUENET. Note sur la pêche de la montée d'anguilles, p. 359 et 360 (*Chr.*).
DALMONT (prix), décerné à M. Collignon, p. 441.
DARCEL. Mention honorable pour son Mémoire sur l'éclairage des villes, p. 151.
DARTEIN (de). Paroles prononcées aux obsèques de M. Léonce Reynaud, p. 239.
DÉCINTREMENT à galets des voûtes; système pouvant fonctionner dans l'eau : Note de M. Henry, p. 33.
DRAGAGES (chargement direct, par la drague, des wagons) : Note de M. Gotteland, p. 29.
— Notice par M. Lavoinne, sur les divers procédés employés dans les ports de l'Amérique du Nord, p. 161.
DUPORCQ. Note sur l'explosion d'une chaudière à vapeur dans une sucrerie à Carvin (Pas-de-Calais), p. 36.
DURAND-CLAYE (L.). Rectification au sujet de l'article de M. Malo sur les asphaltes, p. 128 (*Chr.*)
DURAND-CLAYE (Alfred). Vérification de la stabilité des voûtes et des arcs. — Application aux voûtes sphériques : Mémoire, p. 416 à 440. Voûtes en maçonnerie : *Erratum*, p. 446 (*Chr.*).
DYNAMOMÈTRE hydraulique : Note de M. de Perrodil, sur cet instrument, p. 11.

E

ÉAUX souterraines (température des), p. 235 (*Chr.*).
ÉCOLE DES PONTS ET CHAUSSÉES. Allocution prononcée à l'ouverture des cours, par M. Tarbé de Saint-Hardouin, p. 56 (*Chr.*).
ÉTATS-UNIS (Construction de chemins de fer aux) : Renseignements statistiques, p. 237 (*Chr.*).
EXHAUSSEMENT à 2 mètres du mouillage du canal de la Marne au Rhin : Mémoire par MM. Picard et Bruniquel, p. 249.
EXPLOSION d'une chaudière à vapeur dans une sucrerie à Carvin (Pas-de-Calais). Rapport de M. Duporcq, p. 36.

G

GARIEL. Note sur le plan incliné de Madison (Indiana), p. 5 à 10.
GAUNIN. Méthode de nivellement rapide, p. 236 (*Chr.*).
GIOVANNI. Salemi Pace. Mémoire sur l'équilibre des voûtes symétriques et symétriquement chargées, p. 134 (*Chr.*).
GOBERT. Mémoire sur les voûtes en maçonnerie, 132 (*Chr.*).
GOTTELAND. Note sur le chargement direct, par la drague, des wagons placés sur bateau, p. 29 à 32.

H

HENRY. Note sur le système de décintrement à galets pouvant fonctionner dans l'eau, p. 33 à 35.
HUET. Médaille d'or de 300 francs pour son étude sur les chemins de fer métropolitains de Londres, p. 151.
HYDRAULIQUE. Note sur le tarage de l'hydro-dynamomètre hydraulique, par M. de Perrodil, p. 11.
— Note sur la construction d'un batardeau en béton dans le port de Marseille; par M. Bernard, p. 357 (*Chr.*)
— Note sur un mode de notation et de représentation des observations hydrométriques; par M. Ch. Ritter, p. 579.

J

JEAUGEAGE des cours d'eau. Note de

M. de Perrodil, sur le dynamomètre hydraulique, p. 11.

K

KLEITZ. Remarque sur la méthode graphique exposée par M. Lalanne, dans son mémoire de 1879, n° 42, p. 49 (*Chr.*).

L

LABRY (de). Note sur le profit des travaux, p. 76 à 85.
LALANNE. Note sur la détermination de l'emplacement d'un pont à établir sur le Danube, près de Silistrie, p. 52 à 55 (*Chr.*).
— Paroles prononcées aux obsèques de M. Léonce Reynaud, p. 239.
— *Voir* Méthode graphique.
LLANDULAS (reconstruction du viaduc de) sur la rivière de Dulas (Angleterre), p. 131 (*Chr.*).
LAVOINNE. Notice sur les divers procédés de dragage employés dans les ports de l'Amérique du Nord, p. 161.
LEFEBVRE (René). Médaille d'or de 300 francs pour son mémoire sur la constitution des terres et sur les accidents dans les terrains argileux, p. 151.

M

MÉDAILLES décernées aux auteurs des meilleurs mémoires publiés dans les *Annales* en 1878, p. 151.
MENU-LEQUIEN, p. 36.
MÉTHODE GRAPHIQUE. Remarque de M. Kleitz sur un mémoire de M. Lalanne, p. 49 (*Chr.*).
MONTÉE d'anguilles (pêche de la). Note par M. Daguenet, p. 359 (*Chr.*).
MOULINET de Woltmann (expériences sur le tarage d'un), p. 17.

N

NÉCROLOGIE. Notice sur M. Watier, par M. Chambrelent, p. 152.
— Paroles prononcées sur la tombe de M. Léonce Reynaud, par MM. Lalanne, E. Allard, de Dartein et Pradelle, p. 239.
NIVELLEMENT expéditif, p. 235 (*Chr.*).

O

OBSERVATIONS hydrométriques (mode de notation et de représentation des). Note de M. Ch. Ritter), p. 579.

P

PARANDIER. Étude sur les courants de circulation et sur les principes à suivre dans le tracé des voies nouvelles de transport destinées à les desservir, p. 367 à 415.
PÊCHE de la montée d'anguilles. Note par M. Daguenet, p. 359 (*Chr.*).
PERRODIL (de). Note sur le tarage de l'hydro-dynamomètre hydraulique, p. 11 à 28.
— Note sur la résistance des voûtes et des arcs métalliques, p. 218.
PICARD (A.). Notice sur la construction du réservoir de Paroy, (canal de la Marne au Rhin), p. 86 à 121.
PICARD (A.) et BRUNIQUEL. Mémoire sur l'exhaussement à 2 mètres du mouillage du canal de la Marne au Rhin, p. 249 à 355. Table des matières, p. 355.
PLAN INCLINÉ de Madison (Indiana): Note par M. Gariel, p. 5.
PONT à établir sur le Danube (détermination de l'emplacement d'un), à l'Est de Silistrie : Note par M. Lalanne, p. 52 (*Chr.*).
— Sur le Severn (Angleterre), p. 129 (*Chr.*).
— Sur le Tay (accident du), p. 446 (*Chr.*).
PORT DE MARSEILLE (construction d'un batardeau en béton dans le) : Note par M. Bernard, p. 357 (*Chr.*).
PORTS de l'Amérique du Nord (procédés de dragage dans les) : Notice par M. Lavoinne, p. 161.
PRADELLE. Paroles prononcées aux obsèques de M. Léonce Reynaud, p. 239.
PRIX *Watier*, p. 75.
— décernés aux auteurs des meilleurs mémoires publiés dans les *Annales*, en 1878, p. 151.
— *Dalmont* décerné à M. Collignon, p. 441.

R

RÉSERVOIR de Paroy (construction du) : Notice par M. A. Picard, p. 86.

RÉSISTANCE des voûtes et des arcs métalliques ; par M. de Perrodil, p. 218.

REYNAUD (Léonce). Paroles prononcées sur sa tombe ; par MM. Lalanne, Allard, de Dartein, et Pradelle, p. 239.

RITTER (Ch.). Exposé d'un mode de notation et de représentation des observations hydrométriques, p. 579 à 598.

S

SAINT-GOTHARD (le grand tunnel du), p. 450 (*Chr.*).

SCHAW. Sonnette à poudre à canon, p. 601.

SEVERN (construction d'un pont sur le) (Angleterre), p. 129 (*Chr.*).

SONNETTE à poudre à canon, p. 601 (*Chr.*).

T

TARBÉ DE SAINT-HARDOUIN. Allocution prononcée à l'ouverture des cours de l'École des ponts et chaussées, p. 56 à 58 (*Chr.*).

TEMPÉRATURE des eaux souterraines, p. 235 (*Chr.*).

TRAVAUX (profit des). Note par M. de Labry), p. 76.

V

VIADUC de Llandulas (Angleterre), p. 131 (*Chr.*).

VICAIRE, p. 233.

VITESSE des trains de chemin de fer, eu égard au tracé de la voie : Compte rendu d'un mémoire de M. Vicaire, p. 233 (*Chr.*).

VOIES nouvelles de transport destinées à desservir les courants de circulation : Étude par M. Parandier, p. 367.

VOÛTES (système de décintrement à galets des) : Note de M. Henry, p. 33.

— ET ARCS MÉTALLIQUES (résistance des) : Note de M. Perrodil, p. 218.

— sphériques. Mémoire par M. Alf. Durand-Claye, p. 416.

— en maçonnerie (nouveaux mémoires sur les), 132 (*Chr.*).

Erratum, p. 446.

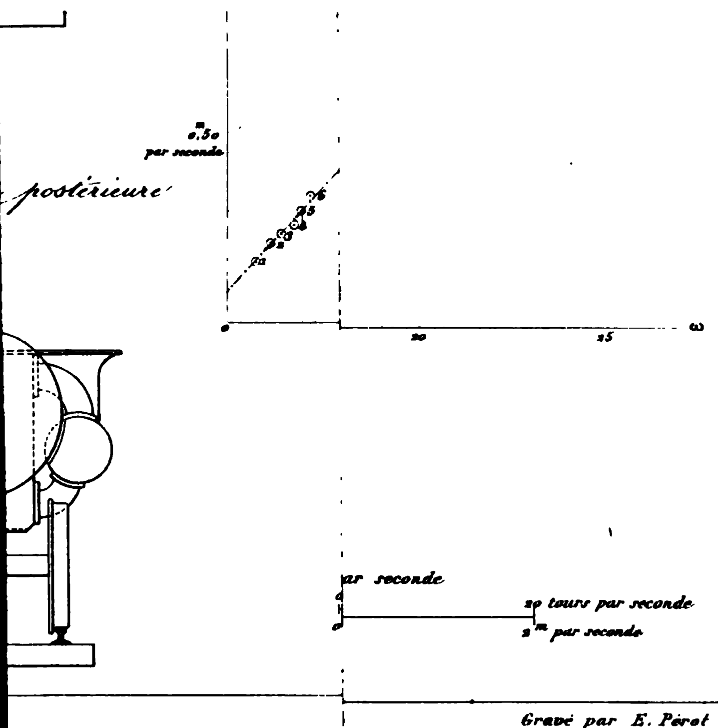
W

WATIER (prix), p. 75. — Notice nécrologique, par M. Chambrelent, p. 152.

FIN DES TABLES DES MÉMOIRES DU 1er SEMESTRE DE 1880.

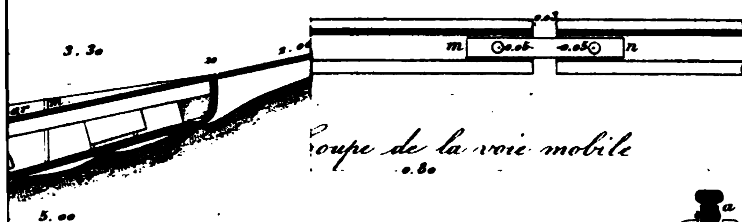
Paris. — Imprimerie Arnous de Rivière, rue Racine, 26.

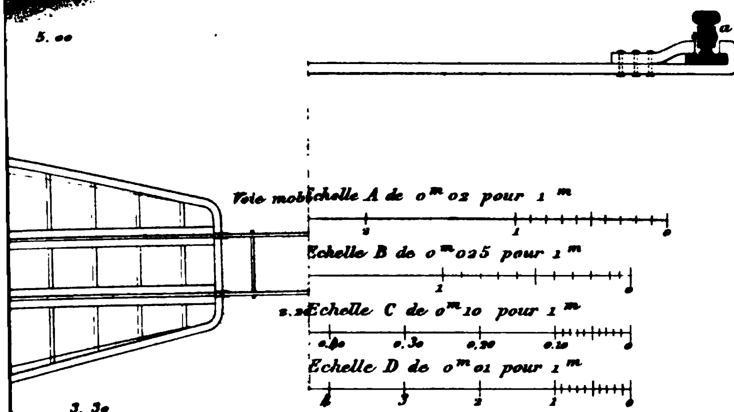




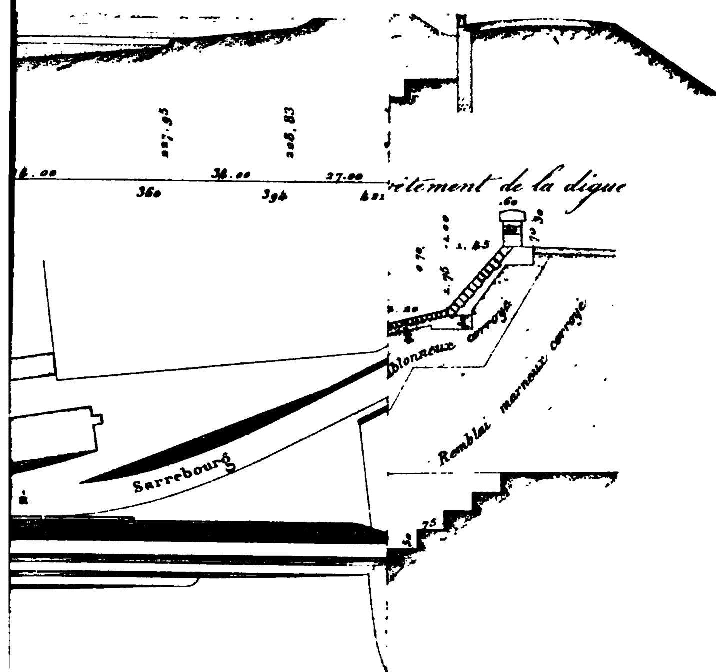
Gravé par E. Pérot

...on de l'assemblage de la voie mobile,
...re; ou avec la voie sur bateau





Gravé par E. Pérot



ıelles

la Fig. 3. $0^{m}0005$ p. 1^{m}

60 80 100

g. 6. $0^{m}005$ pour 1^{m}

3 4 5 6 7 8 9 10

Gravé par E. Pérot

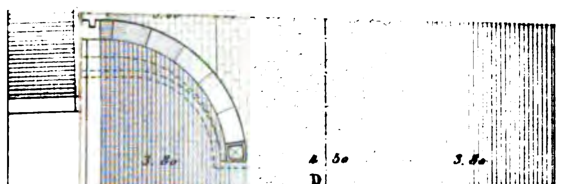
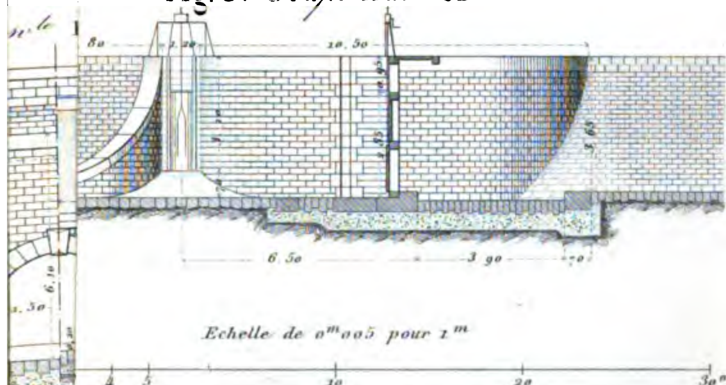


Fig. 8. *Coupe sur* CD



Gravé par E. Pérot

Juill

1860

858

ğ. 5. *Plan*

Vue

B Fig. 6. *Pilon*

B de $0^m 100$ pour 1^m

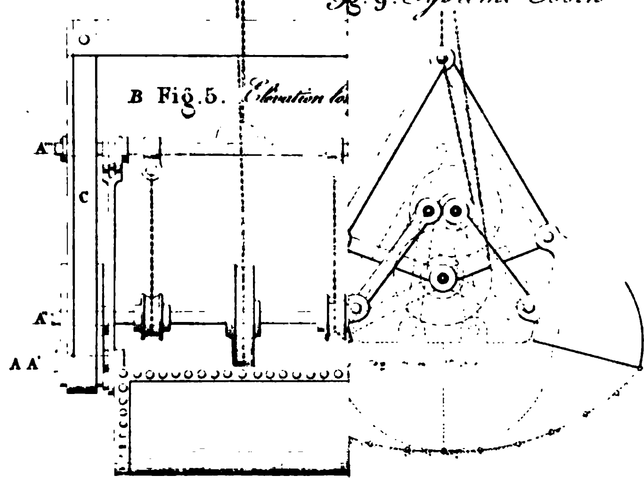
50 60 70 80 90 1m

Gravé par E. Pérot

ur
locs

Système Morris et

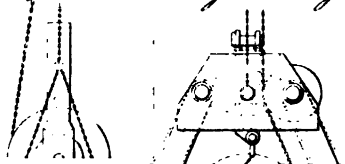
Fig. 9. *Système Both*



B Fig. 10. *Système*

12. *Système Symonds*

te variable
arbuck

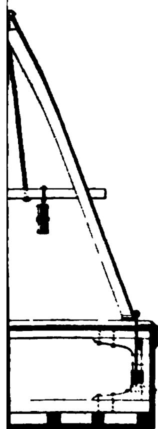


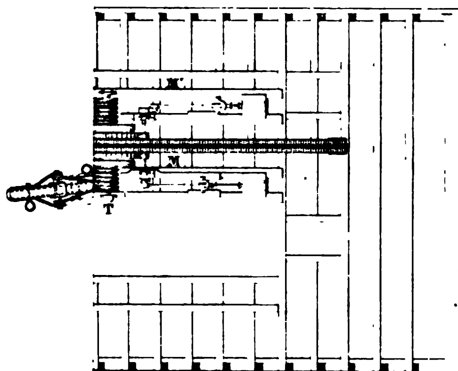
(CLAM SHELLS

1880 Pl. 7

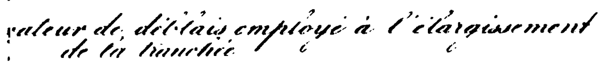
Cumings.

...ansversale ... lancher enlevé)





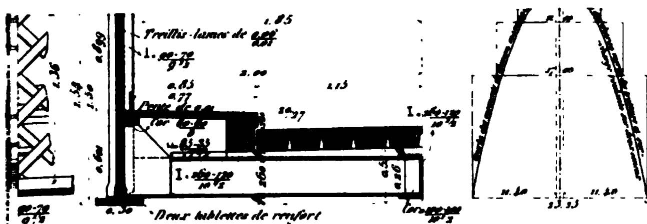
...ican bridge C...



Echelle C de 0m 005 pour 1m

Echelle G de 0m 01 pour 1m





...te près d'une culée

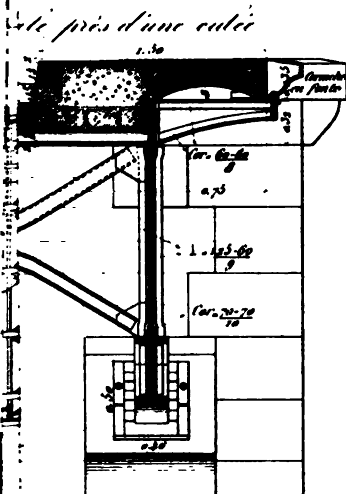


Fig. 23. Épures de stabilité

Extrados

Intrados

Effets des variations de température

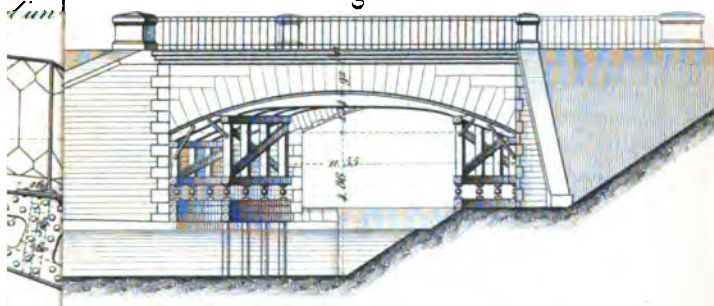
Extrados

Intrados

Gravé par E. Pérot.

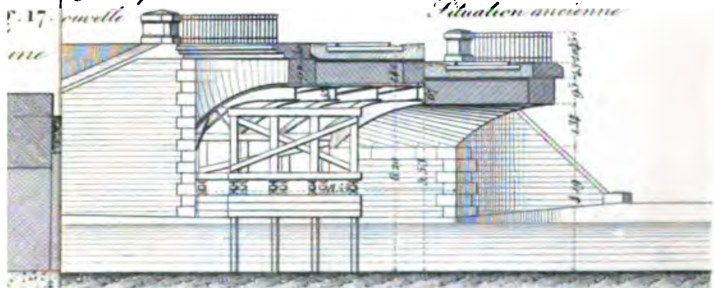
Pont de Fontenoy

A *Élévation* Fig. 18. *Situation nouvelle*



19. *Coupe transversale suivant l'axe du canal*

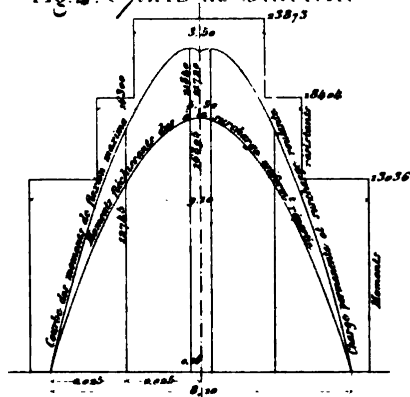
Situation ancienne



02 pour 1 mètre.

Gravé par E. Pérot

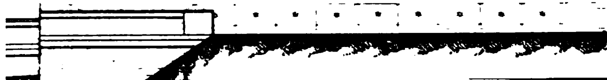
Fig. 4. Épure de stabilité





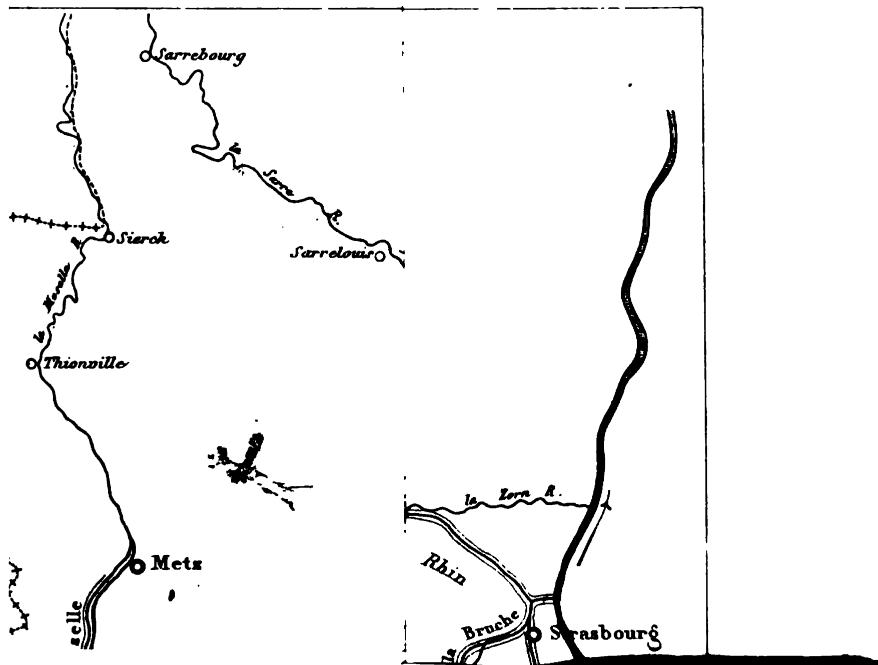






IN. — EXHAUSSEMENT

1880 Pl. 13



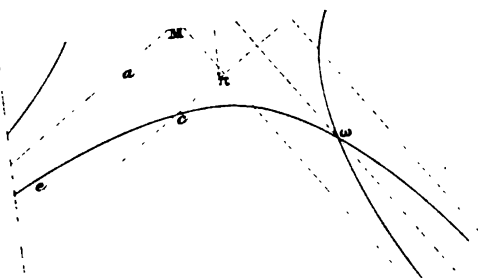
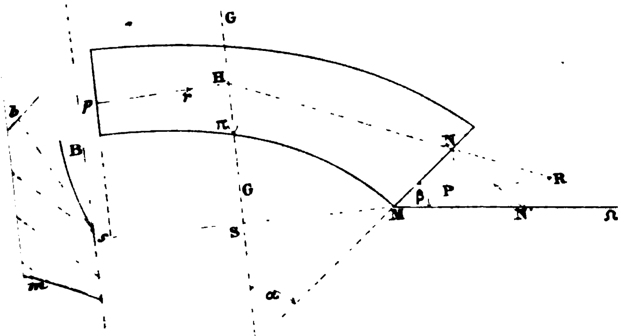


Fig. 9.



Gravé par E. Perot

Fig. 22

Fig. 23.

Fig. 33.

Fig. 24

Gravé par E. Pérot

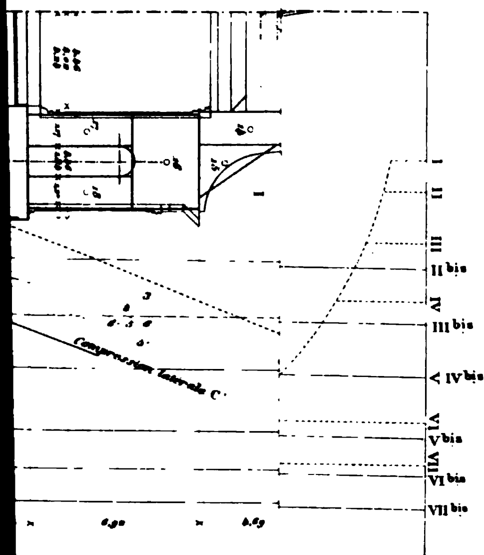

I
II
III
II bis
IV
III bis
V IV bis
VI
V bis
VII
VI bis
VII bis
Compression latérale C.

Fig. 26.

IQUES

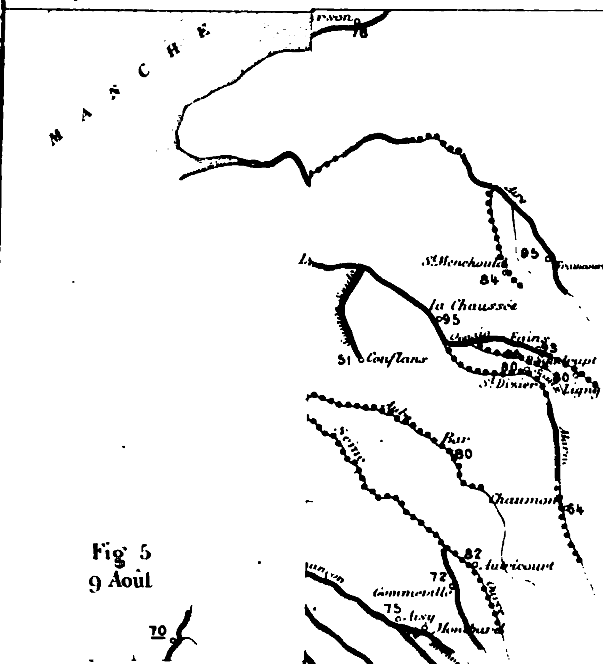


Fig. 5
9 Août